



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBNÍ PROCES SOUČÁSTI "KULOVÝ ČEP"

THE MANUFACTURING PROCESS OF THE BALL JOINT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Petříček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Vít Petříček**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Výrobní proces součásti "kulový čep"

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Všeobecně rozšířená a používaná součást je posuzována v reálném výrobním prostředí firmy, kdy se bere ohled i na možné netypické situace včetně překlenutí výpadků ve výrobě.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- Charakteristika součásti "kulový čep".
- Typický technologický proces v sériové výrobě.
- Problematická (náročnější) místa v technologickém procesu.
- Návrhy řešení kritických situací.
- Technicko-ekonomické posouzení včetně ekologie.

#### **Seznam doporučené literatury:**

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

HUMÁR, Anton. Materiály pro rezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 3. 10. 2018



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá obecným představením součásti „kulový čep“, jejími konstrukčními požadavky a výrobou. Byly vybrány a představeny dva technologické procesy výroby konkrétního kulového čepu, konkrétně výroba čepu tvářením za studena a třískovým obráběním. Obě metody jsou mezi sebou porovnány a je posouzena jejich vhodnost k sériové výrobě. V závěrečné části je obecně ukázán technologický proces výroby kulových čepů řízení osobních automobilů.

### Klíčová slova

kulový čep, tvářením za studena, třískové obrábění, válečkování, povlakování

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the general introduction of the component "ball joint", its construction requirements and production. Two technological processes for the production of a particular spherical pin were selected and presented, namely the production of a cold-forming and a machining. Both methods are compared with each other and their suitability for serial production is assessed. In the final part there is generally shown the technological process of production of the ball pins of the car control.

### Keywords

ball stud, cold forging, chip machining, rolling, coating

## BIBLIOGRAFICKÁ

## CITACE

PETŘÍČEK, Vít. *Výrobní proces součásti "kulový čep"*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116073>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výrobní proces součásti "kulový čep"** vypracoval/la samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Vít Petříček

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval Aleši Koukolovi za cenné rady při vypracování bakalářské práce.

Na závěr bych chtěl poděkovat rodině a blízkým za podporu při celém studiu.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ .....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 ČEPY .....	9
1.1 Rozdělení .....	9
1.1.1 Kulový čep.....	10
1.1.2 Kulové klouby.....	11
1.1.3 Síla potřebná pro montáž a demontáž.....	12
1.2 Konstrukční požadavky .....	12
1.2.1. Kontrola pevnosti.....	12
1.2.2 Kontrola měrného tlaku .....	13
1.2.3 Rozložení tlaku .....	14
1.2.4 Kontrola na zahřátí čepu .....	14
1.3 Využití kulového čepu.....	15
2 VÝROBA KULOVÉHO ČEPU TVÁŘENÍM ZA STUDENA.....	16
2.1 Materiály pro objemové tváření.....	16
2.2 Mechanické zpevnění .....	17
2.3 Protlačování .....	17
2.4 Pěchování.....	18
2.5 Tvářecí stroje .....	18
2.6 Návrh postupu výroby kulového čepu tvářením.....	19
2.6.1 Určení objemu součástí.....	19
2.6.2 Určení polotovaru .....	21
2.6.3 Materiál .....	21
2.6.4 Výrobní postup .....	21
2.6.5 Určení neznámých rozměrů .....	22
3 VÝROBA KULOVÉHO ČEPU OBRÁBĚNÍM .....	24
3.1 Obrábění tvarových ploch.....	24
3.3.1 Kopírovací soustružení .....	24
3.3.2 CNC obrábění .....	25
3.2 Výroba součástí v rámci firmy.....	25
3.2.1 Představení společnosti.....	25

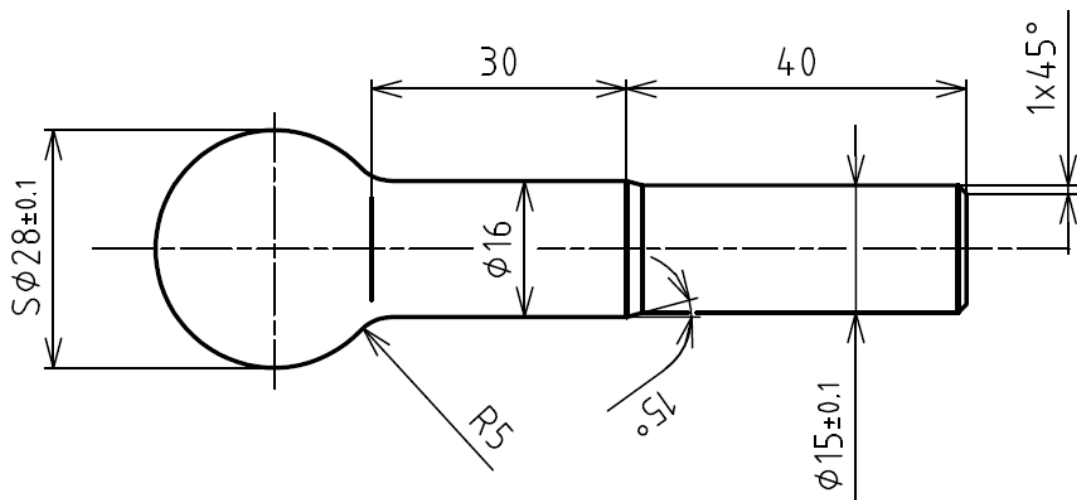
3.2.2 Polotovar .....	26
3.2.3 Použité stroje.....	26
3.2.4 Výrobní proces.....	27
3.2.5. Volba vyměnitelných břitových destiček a řezných podmínek .....	28
3.2.6 Vztahy pro výpočet strojního času.....	29
3.2.7 Výpočet strojního času.....	29
3.2.8 Kritické místo výroby .....	30
3.2.9 Výpadky ve výrobě.....	31
3.3 Výroba kulových čepů řízení.....	32
3.3.1 Stroje.....	32
3.3.2 Válečkování .....	33
3.3.3 Povlakování .....	34
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	35
5 EKOLOGICKÉ HLEDISKO.....	36
4.1 Recyklace kovového odpadu .....	36
4.1.1 Briketování.....	36
4.2 Recyklace VBD .....	37
ZÁVĚR .....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	43



## ÚVOD

Kulové čepy jsou všeobecně rozšířenou a používanou strojní součástí. Díky kulové hlavě je tento čep schopen přenášet zatížení jak v axiálním, tak v radiálním směru, a to i při mírném natočení kolem své osy.

Pro sériovou výrobu zadané součásti (obr 1.) byly zvoleny dva technologické postupy, tváření za studena a třískové obrábění. Jedná se o jednoduchý kulový čep využitelný pro méně namáhané spojení, jako například součást kloubu zavírání dveří autobusu.



Obr. 1 Informativní náčrt kulového čepu.

Výroba součásti na víceoperačním tvářecím automatu kombinuje dopředné protlačování a pěchování, přičemž nevzniká žádný odpad. Pro výrobu součásti třískovým obráběním byla jako polotovar zvolena plná ocelová tyč a výroba je navržena pro dvouvřetenový soustruh.

Cílem této bakalářské práce je porovnat obě metody výroby. Jako kritérium pro volbu technologického procesu je zvolena cena za kus a výrobní čas. Oba parametry budou porovnávány pro různé výrobní série.

Složitější kulové čepy (například kulové čepy řízení u osobních automobilů se v praxi vyrábějí kombinací objemového tváření (výroba polotovaru) a třískového obrábění (dokončovací operace). Tyto čepy jsou totiž vyráběny z ušlechtilých materiálů, které by tvářením nebylo možné vyrobit s potřebnou přesností a výroba pouze třískovým obráběním by byla nevhodná.

## 1 ČEPY

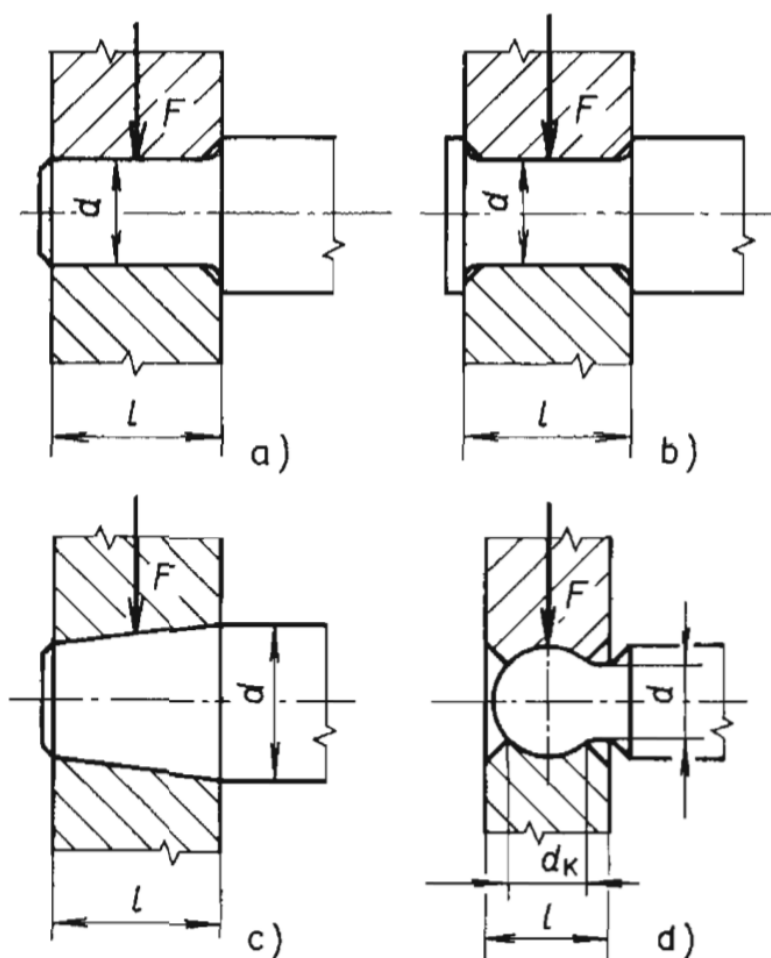
Čepy (dříve svorníky) jsou rotační součásti využívané nejčastěji na rozebíratelné strojní spojení.

Může se jednat o samostatnou součást, která je zpravidla krátká, nebo o část dlouhé hřídele. Takové čepy se dělí na čelní (na konci hřídele) a střední nebo vnitřní (ve střední části hřídele) [1].

### 1.1 Rozdělení

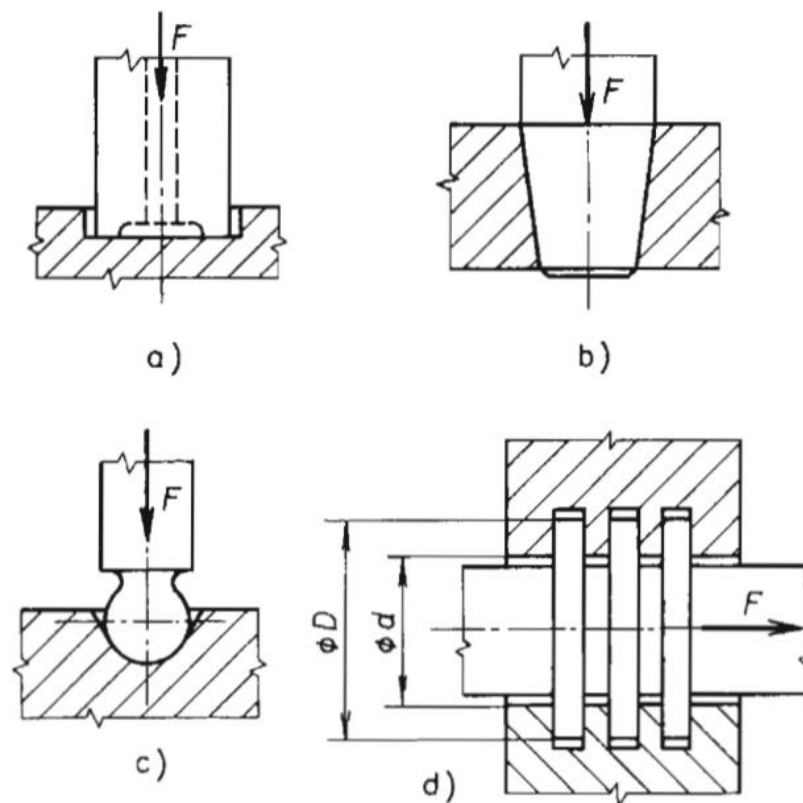
Podle směru působení síly se dělí čepy na:

- Radiálně nosné – Síla působí kolmo na osu hřídele (obr. 2)



Obr. 2 Radiálně nosné čepy [2] a) válcové čelní, b) válcové krční, c) kuželové, d) kulové.

- Axiálně nosné – Síla působí ve směru osy hřídele (obr. 3)



Obr. 3 Axiálně nosné čepy [2] a) válcové patní, b) kuželové patní, c) kulové patní, d) hřebenové.

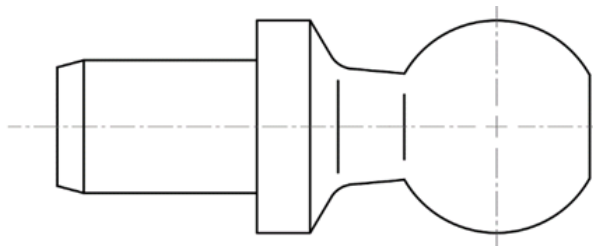
Z rozdělení je patrné, že kulový čep patří jak mezi axiální, tak mezi radiální čepy. Čepy se v pánvích mohou otáčet kolem své osy. U čepu kulového je možné i mírné natočení kolem zbylých dvou os.

### 1.1.1 Kulový čep

Kulový čep je rotační součást charakteristická sférickou hlavou na svém konci, která slouží jako styková plocha pro kloubové spojení. Kulové čepy jsou částečně normalizovány, jejich dvě provedení předepisuje norma DIN 71803 [3].

- Provedení B (obr. 4)

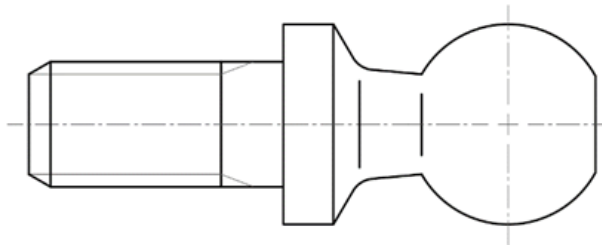
Na sférickou hlavu čepu plynule navazuje kužel zakončený přírubou. Součást je zakončená nýtovacím čepem, který slouží pro spojení s přírubou.



Obr. 4 Kulový čep, provedení B.

- Provedení C (obr. 5)

Podobné jako u varianty B. Rozdílem je závit, který nahrazuje nýtovací čep. Na přírubě jsou navíc vyfrézovány plošky pro klíč na šroubování závitu.



Obr. 5 Kulový čep, provedení C.

### 1.1.2 Kulové klouby

Kulové klouby jsou mechanické jednotky pro spojení dvou částí, které jsou vůči sobě kolmé. Umožňují přenášet síly skrze úhlový a oscilační pohyb [3].

Kulové klouby jsou mimo jiné vyráběny podle zahraniční normy DIN 71802 ve dvou provedeních (tj. C, CS).

- Forma C – bez pojistného kroužku S (obr. 6)



Obr. 6 Kulový kloub – forma C [4].

- Forma CS – s pojistným kroužkem S (obr. 7)



Obr. 7 Kulový kloub – forma CS [4].

Ve formě s pojistným klipem S má kulová jamka drážku pro pojistný klip a dvě vyvrtané díry nutné pro montáž.

### 1.1.3 Síla potřebná pro montáž a demontáž

Hodnoty sil potřebných k montáži a demontáži kloubového spojení se značně liší. Síla potřebná pro montáž součásti je až sedmkrát vyšší a závisí na průměru hlavy kulového čepu. S rostoucím průměrem se obě síly zvyšují. Příklady potřebných sil jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Síla potřebná pro montáž a demontáž [3].

$d_1$ (průměr hlavy kulového čepu) [mm]	8	10	13	16	19
síla potřebná pro montáž [N]	30	40	60	80	100
síla potřebná pro demontáž [N]	200	250	320	350	400

## 1.2 Konstrukční požadavky

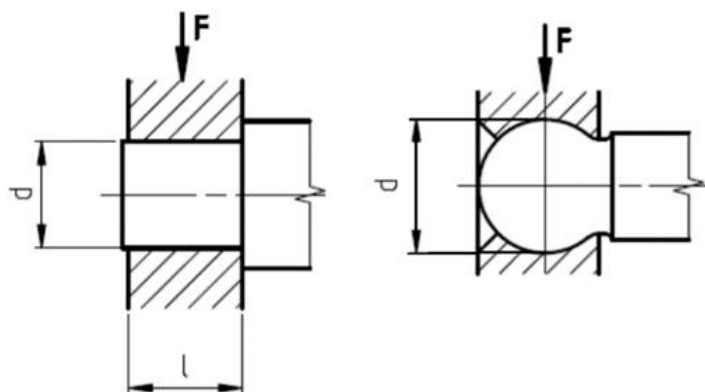
### 1.2.1. Kontrola pevnosti

Vzhledem k tomu, že čepy přenášejí zatížení (obr. 8), je nutné kontrolovat, zda nedojde k jeho porušení. Musí splňovat dostatečnou pevnost, protože jsou namáhány na ohyb. Nebezpečné místo je v místě vetknutí pro válcový čep a přechod kulové části na válcovou pro čep kulový. Musí platit rovnice (1.1) [2].

$$\sigma_o \leq \sigma_{MAX} \quad (1.1)$$

Kde:  $\sigma_o$  – ohybové napětí konkrétní součásti

$\sigma_{MAX}$  – maximální dovolené napětí.



Obr. 8 Zatížení válcového a kulového čepu. [5]

Maximální napětí v ohybu bývá

$$\sigma_{MAX} = 50 - 80 \text{ MPa pro ocel}$$

$$\sigma_{MAX} = 30 - 40 \text{ MPa pro odlitky}$$

$$\sigma_{MAX} = 15 - 30 \text{ MPa pro litinu}$$

Ohybové napětí se lze určit podle vztahu (1.2) [2].

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (1.2)$$

Kde:  $W_o$  – průřezový modul v ohybu.

Ohybový moment  $M_o$  pro válcový čep lze určit podle vztahu (1.3), pro kulový čep platí vztah (1.4) [2].

$$M_o = \frac{2 * F}{l} \quad (1.3)$$

Kde:  $F$  – zatěžující síla

$l$  – délka čepu.

$$M_o = \frac{2 * F}{d_1} \quad (1.4)$$

Kde:  $d_1$  – průměr kulové hlavy čepu.

### 1.2.2 Kontrola měrného tlaku

Zatížení způsobuje mezi stykovými plochami čepu a pánve takzvaný měrný tlak. Je nutné, aby měrný tlak ve stykových plochách nepřekročil maximální dovolený tlak pro daný případ. Musí tedy platit rovnice (1.5) [2].

$$p \leq p_d \quad (1.5)$$

Kde:  $p$  – měrný tlak

$p_D$  – maximální dovolený měrný tlak.

Příklady dovolených měrných tlaků jsou uvedeny v tabulce 1.2.

Tab. 1.2 Příklady měrných tlaků [2].

Materiál čepu	Materiál pánve	$p_d$ [MPa]
kalená ocel	kalená ocel	15
kalená ocel	bronz	12
kalená ocel	kompozice	9
nekalená ocel	bronz	6
nekalená ocel	kompozice	5
měkká ocel	kompozice nebo bronz	3-4
litina	kompozice nebo bronz	2,5-3
měkká ocel	litina	2,5

V praxi se doporučuje volit menší hodnoty měrného tlaku, aby se čep (nebo pánve) nepoškodil například vlivem nedokonalého přilehnutí, nedostatečného mazání, nebo rázového namáhání. Naopak u součástí, které jsou málo zatěžované, nebo jen zřídka používané lze volit hodnoty blízké maximálnímu dovolenému tlaku [2].

Měrný tlak pro válcový čep se lze určit podle vztahu (1.6), pro kulový čep platí vztah (1.7) [2].

$$p = \frac{F}{d * l} \quad (1.6)$$

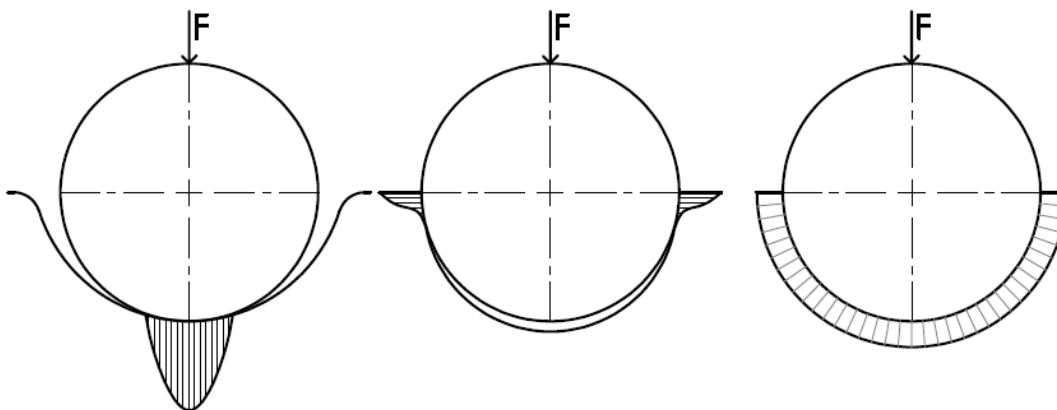
$$p = \frac{F \times 4}{\pi * d_1^2} \quad (1.7)$$

### 1.2.3 Rozložení tlaku

V ideálním případě je zatížení rozloženo rovnoměrně, ale v praxi většinou není kontakt stykových ploch dokonalý [2], je to dáno vlivem:

- mikronerovností povrchu stykových ploch (kvalitou povrchu),
- výrobních nedokonalostí (různé toleranční odchylky),
- různého zakřivení stykových ploch (obr. 9).

Mikronerovnosti a toleranční odchylky se minimalizují po tzv. „zaběhnutí čepu“. Různé zakřivení stykových ploch ale může mít velmi nepříznivý vliv na velikost maximálního tlaku mezi stykovými plochami.



Obr. 9 Rozložení tlaku v kulovém kloubu pro různé zakřivení stykových ploch.

### 1.2.4 Kontrola na zahřátí čepu

Při vyšší rychlosti otáčení je třeba kontrolovat, zda je materiál schopen odvádět teplo z ploch styku. Zatížení na otáčející se čep způsobuje třecí sílu  $F_T$ , pro kterou platí vztah (1.8) [2]:

$$F_T = F \cdot f_T \quad (1.8)$$

Kde:  $f_T$  – součinitel tření.

Hodnoty součinitele tření závisí především na kvalitě povrchu a způsobu mazání. V praxi dosahuje hodnot 0,02 – 0,1.

Vzniklé teplo se určí ze vztahu pro třecí výkon  $P_t$  (1.9) [2]:

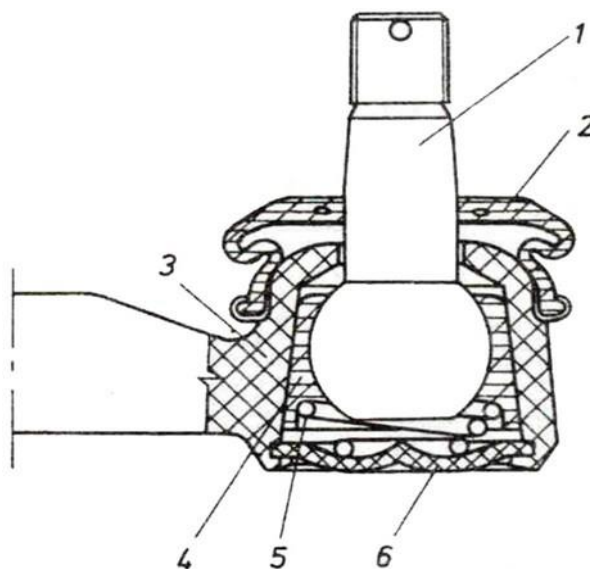
$$P_t = F \cdot f_T \cdot \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n}{60} \left[ \frac{J}{s} \right] \quad (1.9)$$

Kde:  $n$  – otáčky.

Pokud materiál nedokáže efektivně odvádět vzniklé teplo sáláním, hrozí přehřátí čepu a s tím spojené spalování maziva, případně zadření čepu [2]. Je tedy nutné zavést umělé chlazení stykových ploch. Příkladem může být chlazení olejem, který zároveň maže stykové plochy.

### 1.3 Využití kulového čepu

Typickým příkladem využití kulových čepů a kloubových spojení je v zavěšení předních kol u osobních automobilů (obr. 10). Kulový čep zde musí přenášet síly v řízení, a to i při změně úhlů spojených tyčí, nebo částečném naklápění. Tyto spojení musí mít vysokou trvanlivost, proto jsou nerozebíratelné, s trvalým mazivem a pryžovou manžetou. Samotný čep je obvykle vyroben z kvalitní oceli (požadována vysoká tvrdost, alespoň 50 HRC), zatímco pánev je ze syntetických hmot. Za provozu vzniká mezi čepem a pávní vůle, která je nežádoucí. Tato vůle je kvůli zvýšení životnosti vymezena pružinou [6].



Obr. 10 Kulový čep řízení [6] 1. Kulový čep, 2. Pryžová manžeta, 3. Řídící tyč, 4. Pánev kloubu, 5. Pružina, 6. Krytka.

Pro správnou funkčnost kulového kloubu je nezbytně nutná pryžová manžeta, která brání vniku vody a nečistot mezi čep a pánev. Když dojde k poškození manžety, nečistoty se dostanou mezi stykové plochy a začnou zde působit jako abrazivo. Začne docházet k intenzivnímu otěru a vůle se zvětšuje až do doby, kdy překročí maximální toleranci. Pokud se mezi čep a pánev dostane voda, hrozí koroze, která je nežádoucí. Čep se v tu chvíli stane nepoužitelným, protože pružinka už není schopna kompenzovat opotřebení. Výsledkem je nepřesné řízení a často i dopravní nehody, proto je třeba pravidelně kontrolovat stav pryžové manžety [5].

Obecně se dá říci, že kulové čepy řízení mají vysokou životnost (statisíce kilometrů), ale i přesto může dojít k poruchám v důsledku cyklického zatížení [5].



## 2 VÝROBA KULOVÉHO ČEPU TVÁŘENÍM ZA STUDENA

Jednoduché čepy se často vyrábí tvářením. Taková výroba se nejčastěji skládá z dopředného protlačování, pěchování a případného válcování závitu. Studené kování má své výhody, jako jsou zlepšené mechanické vlastnosti, nebo dobrá jakost povrchu [7]. Při tvářením za studena je vysoká (téměř stoprocentní) využitelnost materiálu, jelikož nedochází k jeho úběru.

Při technologii objemového tvářením za studena dochází k trvalé změně tvaru výchozího polotovaru. Ke změně tvaru dochází vlivem vnějších sil, které v materiálu způsobují prostorovou napjatost. K tvářením za studena dochází za teplot nižších, než je teplota rekrytalizace (35 až 40 %  $T_C$ ) [7].

Pro teplotu tvářením za studena platí vztah (2.1) [7]:

$$T < 0,3 \cdot T_C \quad (2.1)$$

Kde:  $T$  – tvářecí teplota.

$T_C$  – teplota tání.

### 2.1 Materiály pro objemové tvářením

Tvářením za studena vyžaduje několik podstatných vlastností u použitých ocelí:

- **Mechanické vlastnosti**

Aby bylo tvářením proveditelné, měla by použitá ocel mít co nejvyšší tažnost a co nejnižší mez kluzu. Ideální poměr meze kluzu a meze pevnosti je 0,4 – 0,6.

- **Struktura oceli**

Ocel vhodná pro tvářením má být co nejměkčí, s feriticko-perlitickou strukturou [8]. Takové struktury je možné dosáhnout tepelnými úpravami, normalizační žíhání pro homogenní strukturu a následné žíhání na měkko, díky kterému se dosáhne vyšší tažnosti a nižší tvrdosti. Technická norma ČSN 42 0463 doporučuje velikost zrna v rozmezí 5 až 8.

- **Chemické složení**

Používají se nízkouhlíkové a nízkolegované oceli. Je vyžadován nízký obsah fosforu a síry. Výjimečně a pouze pro jednoduché součásti se používají oceli se středním obsahem uhlíku či oceli legované.

Oceli lze rozdělit dle vhodnosti k objemovému tvářením do tří skupin [8]:

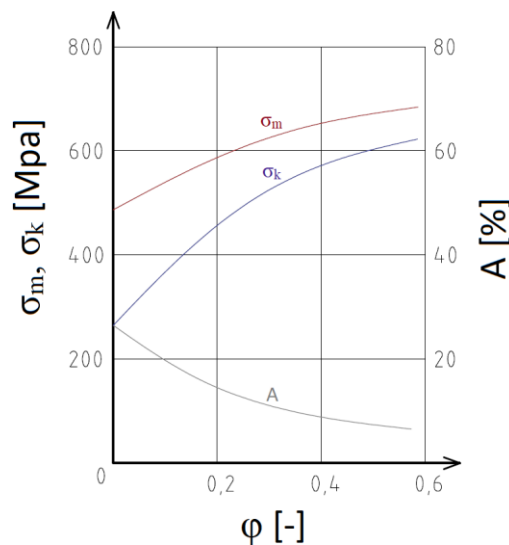
1. Oceli vhodné k tvářením - 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 12 010, 12 011, 12 013,
2. Oceli vhodné k tvářením při běžném tepelném zpracování a povrchové úpravě – 11 350, 11 375, 11 423, 11 425, 11 523, 12 020, 12 030, 14 120, 14 220,
3. Oceli tvaritelné jen po kvalitním tepelném zpracování, vhodné povrchové úpravě a při vhodném mazání – 11 500, 11 600, 12 040, 12 050, 15 260, 16 220, 16 221, 17 021, 17 027, 17 115, 17 255.

Pozn. U ocelí třetí skupiny je výrobní proces nutné rozdělit do více operací. Měrné tlaky při tvářením těchto materiálů se blíží k maximálním dovoleným měrným tlakům u tvářecích nástrojů.

## 2.2 Mechanické zpevnění

Výhodou objemového tváření je tzv. deformační zpevňování. Vlivem deformace při tváření vzrůstá mez kluzu a mez pevnosti, oproti tomu tažnost materiálu klesá (obr. 11) []. Velikost mechanického zpevnění závisí na velikosti deformace.

Při tváření za studena není napjatost v materiálu homogenní, proto ani mechanické zpevnění není po průřezu rovnoměrné. Na povrchu součásti je zpevnění výraznější než v jádru součásti [8].



Obr. 11 Mechanické zpevnění:  $\sigma_m$  – mez pevnosti,  $\sigma_k$  – mez kluzu, A – tažnost,  $\varphi$  – stupeň deformace [7].

Rozdíly ve zpevnění rostou s velikostí průřezu a stupněm deformace. Je prakticky nemožné dosáhnout rovnoměrných mechanických vlastností po celém průřezu při tváření za studena větších součástí. Proto se tváření za studena používá hlavně pro malé součásti (do průměru 50 mm) [8].

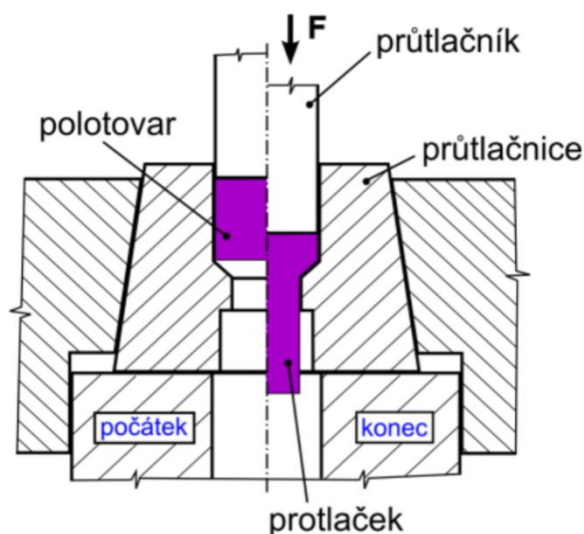
Při tváření za studena se zrna materiálu prodlužují ve směru kolmém na zatěžující sílu, vniká tzv. textura [7]. S rostoucím stupněm deformace se zvyšuje počet dislokací ve struktuře materiálu. Tyto dislokace jsou překážkou pro skluz materiálu po skluzových rovinách. Uvnitř materiálu vzniká výrazné vnitřní napětí.

## 2.3 Protlačování

Polotovar (nejčastěji špalík či kalota) se vloží do dutiny. Průtlačník začne působit na polotovar vysokým tlakem, který způsobí deformaci polotovaru. Směr tečení materiálu je ovlivněn především konstrukcí průtlačníku a průtlačnice. Výsledná součást se nazývá protlaček. Postupy určování technologických parametrů jsou uvedeny v normě ČSN 22 7005.

- Dopředné protlačování (obr. 12)

Materiál teče ve směru pohybu průtlačníku. Průřez protlačku odpovídá zúžené části průtlačnice.



Obr. 12 Dopředné protlačování [9].

## 2.4 Pěchování

Spočívá ve stlačování výchozího polotovaru a tím zvětšování jeho průřezu. Využívá se především při výrobě členitých součástí, nebo při kalibraci výchozího materiálu (zarovnání čel deformovaných při dělení materiálu) [8].

## 2.5 Tvářecí stroje

- **Mechanické lisy**

Nejpoužívanějšími stroji pro objemové tváření jsou mechanické lisy. Pohon beranu je zajišťován výstředníkovým, klikovým, nebo kolenovým mechanismem. Na rotující hřídel je připojena ojnice, nebo výstředník, díky kterému se pohyb rotační mění na pohyb translační. Nevýhodou mechanických lisů je, že tvářecí síla není během zdvihu konstantní. Největších sil dosahují mechanické lisy až ve své spodní poloze (dolní úvrati). Používají se na zápusťkové kování, hluboké tažení, stříhání, ražení, protlačování nebo ohýbání [10].

Mezi mechanické lisy patří i tvářecí automaty, na kterých je možné postupně provádět několik operací, ze kterých je zhotoven požadovaný výrobek.

- **Hydraulické lisy**

Beran u těchto tvářecích strojů je poháněn hydraulicky, využívá Pascalova zákona, podle kterého se kapalina šíří rovnoměrně všemi směry. Provozní kapalinou je olej, jenž je čerpadlem stlačován a způsobuje pohyb pístu. Výroba pomocí hydraulických lisů lze snadno automatizovat, proto nacházejí čím dál větší uplatnění. Používají se na hluboké tažení, protlačování, nebo ražení [10].

- **Buchary**

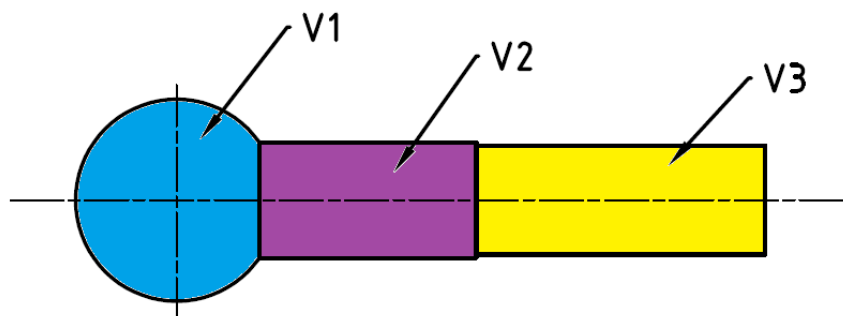
Buchary jsou tvářecí stroje, které k přetvoření materiálu využívají kinetickou energii beranu, který padá na obrobek. Některé berany padají pouze vlivem vlastní hmotnosti, jiné mohou ještě hydraulicky, nebo pneumaticky urychleny. Energie závisí hlavně na výšce pádu a hmotnosti beranu. Buchary se používají na volné nebo zápusťkové kování, případně na pěchování [10].

## 2.6 Návrh postupu výroby kulového čepu tvářením

Danou součást je možné vyrobit kombinací výše uvedených způsobů objemového tvářením (kap. 2.3, kap. 2.4). V této kapitole je popsán návrh výroby na tvářecím automatu.

### 2.6.1 Určení objemu součásti

Při objemovém tvářením za studena platí zákon zachování objemu. Objem konečné součásti je tedy stejný jako objem polotovaru. Pro výpočet objemu čepu dle obrázku jej lze zjednodušit na dané podoblasti (obr. 13), jejichž objemy je možné jednoduše určit. Výsledný objem celé součásti je roven součtu dílčích objemů.



Obr. 13 Kulový čep rozdělení.

Pro určení objemů dílčích částí lze použít vzorce pro objem dřívku (2.2) [11] a objem koule (2.3) [11] a objem kulového vrchlíku. (2.4) [11].

$$V = \pi R_p^2 \cdot H [m^3] \quad (2.2)$$

Kde:  $R_p$  – poloměr podstavy

$H$  – výška dřívku.

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 [m^3] \quad (2.3)$$

Kde  $R$  – poloměr koule.

$$V = \frac{\pi \cdot v}{6} (3r^2 + v^2) [m^3] \quad (2.4)$$

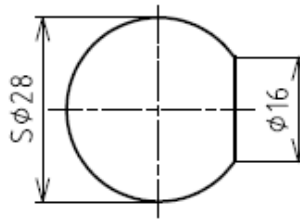
Kde  $v$  – výška kulové úseče

$r$  – poloměr úseče.

- **Určení celkového objemu dle SW Autodesk Inventor 2017**

$$V_C = 24406 \text{ mm}^3$$

- **Určení objemu kulové hlavy  $V_1$  (obr. 14) ze vztahu (2.3) a (2.4).**



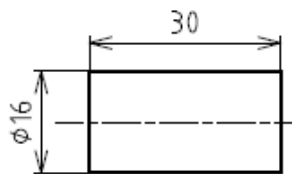
Obr. 14 Kulová hlava.

$$D_1 = 28 \text{ mm}, R_1 = 14 \text{ mm}, d_1 = 16 \text{ mm}, r_1 = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Výška kulové úseče } v = R_1 - \sqrt{R_1^2 - r_1^2} = 14 - \sqrt{14^2 - 8^2} = 2,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Objem kulové hlavy } V_1 &= \frac{1}{6} \pi D_1^3 - \frac{\pi v}{6} (3r_1^2 + v^2) = \frac{1}{6} \pi \cdot 28^3 - \frac{\pi \cdot 2,5}{6} (3 \cdot 8^2 + 2,5^2) \\ &= 11\,234,5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- **Určení objemu dříku  $V_2$  (obr. 15) ze vztahu (2.2).**

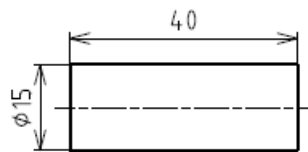


Obr. 15 Dřík 1.

$$h_2 = 30 \text{ mm}, D_2 = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Objem dříku } V_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot h_2 = \frac{\pi 16^2}{4} \cdot 30 = 6\,031,86 \text{ mm}^3$$

- **Určení objemu dříku  $V_3$  (obr. 16) ze vztahu (2.2).**



Obr. 16 Dřík 2.

$$h_3 = 40 \text{ mm}, D_3 = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Objem dříku } V_3 = \frac{\pi D_3^2}{4} \cdot h_3 = \frac{\pi \cdot 15^2}{4} \cdot 40 = 7\,068,58 \text{ mm}^3$$

- **Určení celkového objemu  $V$**

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 11\,234,5 + 6\,031,86 + 7\,068,58 = 24\,334,94 \text{ mm}^3$$

Rozdíl v celkových objemech je dán zjednodušením modelu určení objemu. Objem vygenerovaný Inventorem je přesnější, proto bude nadále počítáno s ním.

### 2.6.2 Určení polotovaru

Jako polotovar k výrobě dané součásti je zvolen špalík o průměru 20 mm. Výšku špalíku lze určit ze vztahu (2.2) a celkového objemu.

$$H = \frac{4 \cdot V_C}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 24\,406}{\pi \cdot 20^2} = 77,69 \text{ mm}$$

### 2.6.3 Materiál

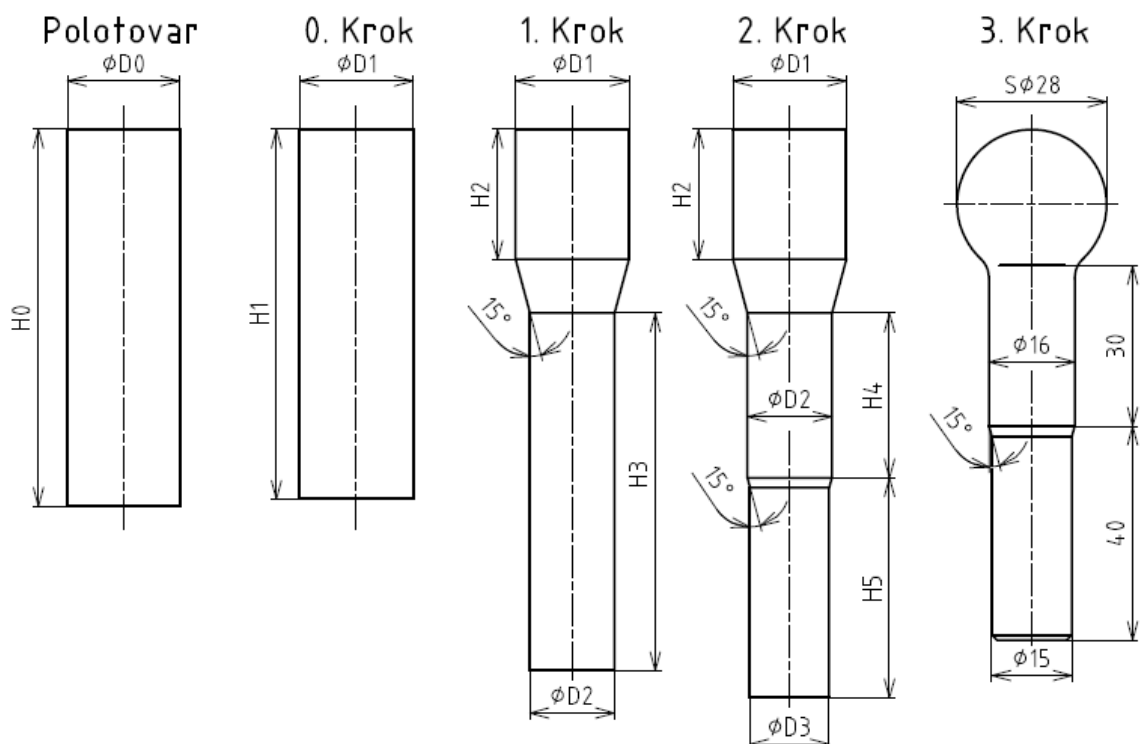
Pro výrobu součásti je zvolen materiál ČSN 11 373. Jedná se o materiál ze skupiny ocelí vhodných k tváření za studena (kap. 2.1). Jedná se o nelegovanou ocel s obsahem uhlíku max 0,17 % [14]. Materiál byl normalizačně žhán a jeho parametry jsou:

- Mez pevnosti  $R_m = \text{min } 350 \text{ MPa}$ ,
- Mez kluzu  $R_e = \text{min } 220 \text{ MPa}$ ,
- Tažnost  $A = \text{min } 20 \%$ .

### 2.6.4 Výrobní postup

Tab. 2.1 Výrobní proces (obr. 17).

<b>0. Operace</b>	Kalibrace čel
<b>1. Operace</b>	Dopředné protlačování na $\phi D_2$
<b>2. Operace</b>	Dopředné protlačování na $\phi D_3$
<b>3. Operace</b>	Pěchování kulové hlavy, kalibrace dřívku na konečné rozměry.



Obr. 17 Výrobní proces.

### 2.6.5 Určení neznámých rozměrů

Rozměry  $D_0$  a  $H_0$  jsou shodné s rozměry polotovaru, platí tedy:

$$D_0 = 20 \text{ mm}, H_0 = 77,69 \text{ mm}$$

Průměry  $D_3$  a  $D_2$  jsou oproti konečným rozměrům zmenšené kvůli snadnějšímu vkládání čepu do přípravku na pēchování. Vůle na každé straně je 0,1 mm, proto:

$$D_2 = 15,8 \text{ mm}, D_3 = 14,8 \text{ mm}$$

Výška  $H_5$  a  $H_4$  se určí ze vztahu (2.2) a objemu daného dříku.

$$H_5 = \frac{(V_3) * 4}{\pi * D_3^2} = \frac{(7068,58) * 4}{\pi * 14,8^2} = 41,09 \text{ mm}$$

$$H_4 = \frac{(V_2) * 4}{\pi * D_2^2} = \frac{(6031,86) * 4}{\pi * 15,8^2} = 30,76 \text{ mm}$$

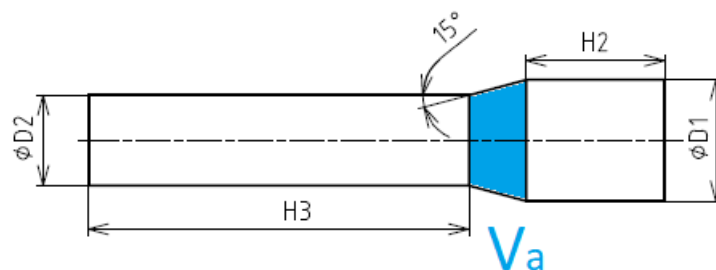
Výška  $H_3$  se určí ze vztahu (2.2) a součtu objemů obou dříků.

$$H_3 = \frac{(V_2 + V_3) * 4}{\pi * D_2^2} = \frac{(6031,86 + 7068,58) * 4}{\pi * 15,8^2} = 66,82 \text{ mm}$$

0. Operace slouží především pro zarovnání čel polotovaru. Při dělení materiálu (nejčastěji stříháním) vzniká nerovný povrch, který je nevhodný pro další operace. Průměr během 0. Operace se změní pouze minimálně, na každé straně o 0,6 mm, proto:

$$D_1 = 21,2 \text{ mm}$$

Výška  $H_2$  se určí ze vztahu (2.2) a objemu kulové hlavy, od kterého se odečte část zkosení (Označeno  $V_a$ , obr. 18).



Obr. 18 Objem  $V_a$ .

$$H_2 = \frac{(V_1 - V_a) * 4}{\pi * D_1^2} = \frac{(11\,234,5 - 2727,83) * 4}{\pi * 21,2^2} = 24,3 \text{ mm}$$

Výška  $H_1$  se určí ze vztahu (2.2) a z celkového objemu.

$$H_1 = \frac{(V_C) * 4}{\pi * D_1^2} = \frac{(24406) * 4}{\pi * 21,2^2} = 69,14 \text{ mm}$$

Aby bylo pēchování kulové hlavy proveditelné, je nutné, aby poměr výšky ku průměru dříku (v tomto případě  $H_2/D_1$ ) byl menší než 2,3.

$$\frac{H_2}{D_1} = \frac{24,3}{21,2} = 1,15 < 2,3$$

V případě nesplnění této podmínky hrozí vybočení materiálu, tzn. porušení vzpěrné stability. Řešením tohoto problému je použití dvourázu, případně třírázu.



### 3 VÝROBA KULOVÉHO ČEPU OBRÁBĚNÍM

Další rozšířenou metodou výroby kulového čepu je obrábění. Kulový čep je tvarová rotační součást, proto je vhodné jej vyrábět soustružením. Při soustružení je hlavní pohyb rotační a koná jej obrobek, vedlejší přímočarý pohyb koná nástroj. Při kontaktu nástroje s obrobkem dochází k úběru třísky, čímž se vytváří požadované plochy [15].

#### 3.1 Obrábění tvarových ploch

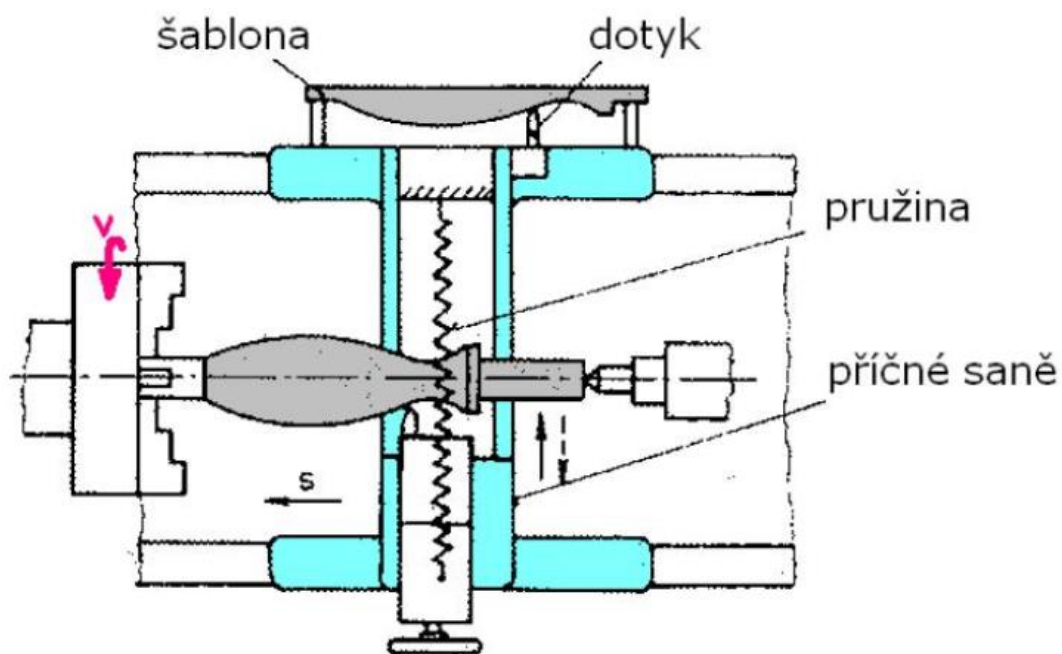
Kulový čep je tvarová součást, pro její výrobu je proto nutné použít metody pro tvarové soustružení. Jedná se například o metodu sdružených posuvů, soustružení tvarovými noži, kopírovacím soustružením, nebo číslicově řízeným soustružením (CNC soustružení) [16]. První dvě jsou pro výrobu kulového čepu nevhodné. Metoda sdružených posuvů je velmi nepřesná a soustružení tvarovými noži se využívá pro výrobu rádiusů.

##### 3.3.1 Kopírovací soustružení

Největší rozmach kopírovacího soustružení začal v poválečném období, tj v 50. letech minulého století. V současné době tato metoda ustupuje číslicově řízeným strojům. Kopírovací soustružení se nadále využívá například při obrábění dřeva [15].

U kopírovacího soustružení je pohyb řezného nástroje ovládán pomocí šablony, případně pomocí vzorového kusu. Směr posuvu se neustále mění, proto je vhodné používat vyměnitelné břitové destičky (VBD) s úhlem špičky menším než  $55^\circ$  [15].

Princip kopírovacího zařízení není nijak složitý. Šablona, případně vzorový kus, je upnuta mezi hroty. Palec je mechanicky přitlačován k šabloně, čímž při posuvu kopíruje její tvar. Palec je zároveň připevněn k příčným saním, takže soustružnický nůž kopíruje tvar šablony [16]. Princip kopírovacího soustružení je uveden na obr. 19.



Obr. 19 Kopírovací soustružení [16].

### 3.3.2 CNC obrábění

S rozvojem výpočetní techniky se i do průmyslu začaly dostávat nové technologie. V případě obrábění se začaly používat nejprve NC (Numerical control) stroje, později CNC (Computer numerical control) stroje. Tyto stroje jsou číslicově řízené, což znamená, že pohyb příčných a podélných suportů je ovládán řídicí jednotkou [15].

Nástroj se v případě CNC soustružení pohybuje po souřadnicích, takže výsledná tvarová plocha je tvořena úsečkami, dlouhými v řádech mikrometrů. CNC obrábění umožnilo obrábět složité tvarové plochy s vysokou přesností. Navíc jsou CNC stroje snadno automatizovatelné, což zkracuje výrobní čas [15].

## 3.2 Výroba součásti v rámci firmy

### 3.2.1 Představení společnosti

Výroba daného kulového čepu je uvažována v rámci firmy KOVO Koukola, s.r.o. Tato společnost se zabývá obráběním kovů od roku 1998, kdy ji současní majitelé, Aleš a Petr Koukola, založili ve Skleném nad Sázavou. Od počátku byla společnost zaměřena na tradiční třískové obrábění, tj. soustružení, frézování a broušení [17].

Úspěch firmy umožnil investovat do CNC technologií, čímž se růst ještě urychlil. Tehdejší prostory přestávaly stačit potřebám, proto se v roce 2007 společnost přestěhovala do nově postavené haly ve Žďáře nad Sázavou (obr. 20). Ta musela být již třikrát rozšiřována, protože růst společnosti i nadále pokračuje [17].



Obr. 20 Společnost KOVO Koukola.

V dnešní době společnost disponuje více než 60 číslicově řízených strojů, mezi které patří i moderní 5tiosá obráběcí centra. Firma dodává své výrobky do celého světa, nejčastěji do automobilového průmyslu, ale také do hydraulických, pneumatických zařízení, zemědělské techniky nebo energetiky.

### 3.2.2 Polotovár

Polotovarem pro danou součást bude tyč o  $\varnothing 30$  mm z materiálu S235JR (ČSN 11 373). Polotovár je vyráběn válcováním za tepla.

### 3.2.3 Použité stroje

Obrábění bude probíhat na stroji WT 150II (obr. 21). Jedná se o dvouvřetenový CNC soustruh od japonské společnosti Nakamura-Tome Precision Industry CO.LTD.



Obr. 21 Nakamura WT 150II.

Díky dvěma vřetenům je tento stroj schopen obrábět dva kusy zároveň, dochází tedy k překrytí strojního času a tím pádem k jeho významné úspoře. Každé vřeteno má navíc k dispozici revolverovou hlavu o 24 pozicích, jak je vidět na obr. 22. V jednu chvíli tedy může být v soustruhu připraveno až 48 nástrojů.



Obr. 22 Vnitřek stroje.

Polotovár ve formě tyče je do stroje přiváděn pomocí automatického podavače FMP turbo 5-55 (obr. 23). Tyč dlouhá maximálně 3,8 metrů je skrz první vřeteno přiváděna do

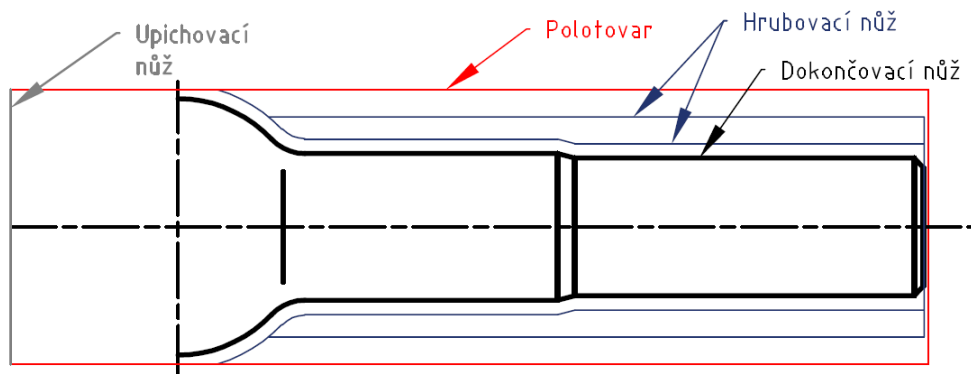
stroje. Po dokončení kusu je tyč automaticky vysunuta o určitou délku (po doraz ve stroji) a může začít obrábění kusu dalšího. Není tedy nutná obsluha stroje, která by měnila kusy manuálně.



Obr. 23 FMP turbo 5-55.

### 3.2.4 Výrobní proces

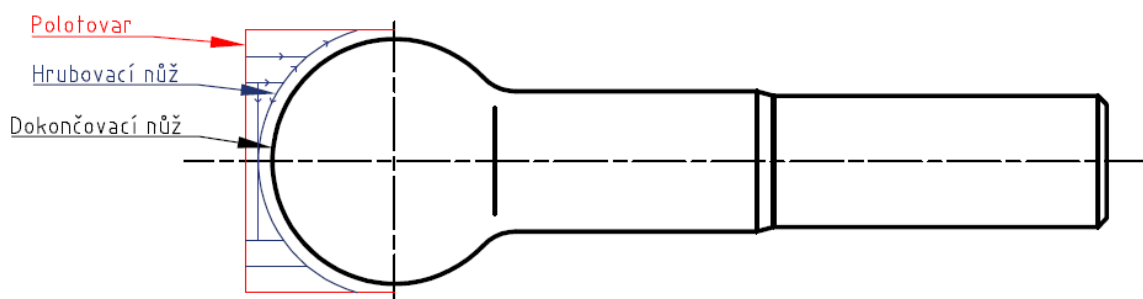
Tyč o průměru 30 mm je vysunuta z prvního vřetene, na kterém budou obrobeny oba dřívky, část kulové hlavy a čelo. Proběhne proces hrubování a dokončování, dráhy nástrojů jsou ukázány na obr. 24.



Obr. 24 Dráhy nástrojů - 1. Vřeteno.

Po obrobení všech ploch přijede druhé vřeteno, které upne součást za dřík a povytáhne tyč z podavače o danou délku. Pomocí upichovacího nože je součást oddělena od tyče. Během této operace se otáčí obě vřetena současně.

Vřeteno, na kterém je upnuta součást odjede k druhé revolverové hlavě, kde proběhne hrubování a dokončování zbylé části kulové hlavy (obr. 25). Současně s odjezdem druhého vřetene podavač vysune tyč z vřetene prvního a začne obrábění dalšího kusu, dochází tedy k překrytí strojního času.



Obr. 25 Dráhy nástrojů – 2. vřeteno.

Po dokončení poslední operace je druhé vřeteno uvolněno. Čep vypadne do připraveného podavače, jenž jej dopraví k obsluze. Ta díky tomu vstupuje do pracovního prostoru pouze kvůli kontrole a případné výměně břitových destiček a nájezdu tyče (výroba prvních kusů u nové tyče).

### 3.2.5. Volba vyměnitelných břitových destiček a řezných podmínek

Pro hrubování bude použita vyměnitelná břitová destička od firmy SECO Tools AG, konkrétně WNMG 080412-M5 TP3501 [18]. Řezné podmínky jsou uvedeny v tab 3.1.

Tab. 3.1 Hrubování – řezné podmínky.

	1. vřeteno	2. vřeteno
maximální šířka záběru ostří $a_p$	3 mm	3 mm
otáčky obrobku $n$	4000 $\text{min}^{-1}$	5000 $\text{min}^{-1}$
posuv na otáčku $f$	0,4 mm	0,25 mm

Na dokončování byla vybrána VBD od firmy ISCAR Metalworking DCMT 11T308-SM IC8350 [19]. Řezné podmínky jsou uvedeny v tab 3.2.

Tab. 3.2 Dokončování – řezné podmínky.

	čelo	Ø15H7	zbylé plochy
šířka záběru ostří $a_p$	0,1 mm	1,5 mm	1,5 mm
otáčky obrobku $n$	5500 $\text{min}^{-1}$	5000 $\text{min}^{-1}$	5000 $\text{min}^{-1}$
posuv na otáčku $f$	0,15 mm	0,075 mm	0,2 mm

Posledním nástrojem, který bude použit je upichovací nůž, který byl vybrán od firmy Walter AG GX24-2E300N02-CF5 WSM33S [20]. Řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 3.3.

Tab. 3.3 Upichování – řezné podmínky.

řezná rychlost $v_c$	130 m.min <sup>-1</sup>
posuv na otáčku $f$	0,1 mm

### 3.2.6 Vztahy pro výpočet strojního času

Dráha nástroje  $L$  [mm] se určí ze vztahu (3.1) [21].

$$L = l + l_n + l_p \quad (3.1)$$

Kde:  $l$  – délka obráběné plochy

$l_n$  – délka náběhu

$l_p$  – délka přeběhu.

Pro jednotkový strojní čas při konstantních otáčkách platí vztah (3.2) [21].

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \quad (3.2)$$

Kde:  $n$  – otáčky obrobku

$f$  – posuv na otáčku.

Pro jednotkový strojní čas čelního soustružení při konstantní řezné rychlosti platí vztah (3.3) [21].

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot ((D_{max} + 2l_n)^2 - (D_{min} - 2l_p)^2)}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \quad (3.3)$$

Kde:  $D_{max}$  – maximální průměr

$D_{min}$  – minimální průměr

$v_c$  – řezná rychlost.

### 3.2.7 Výpočet strojního času

Výpočty strojních časů jsou uvedeny v příloze 5. Tabulka 3.4 a 3.5 zobrazuje přehled vybraných výsledků strojních časů. Kvůli názornosti jsou základní jednotky minuty převedeny na sekundy.

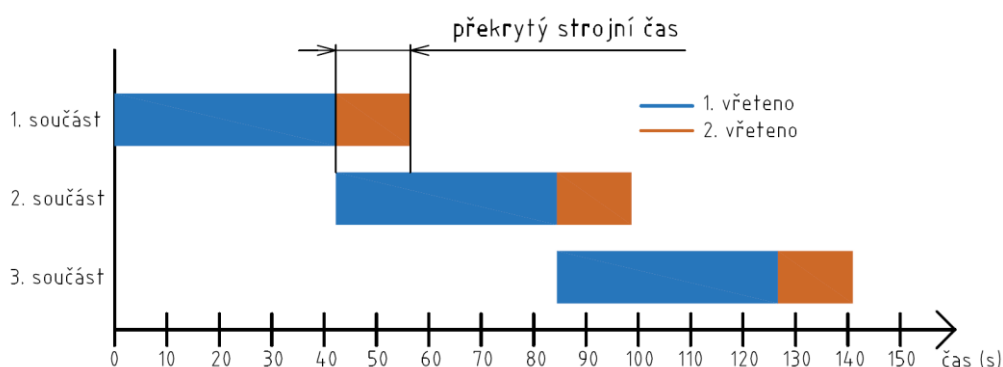
Tab. 3.4 Strojní časy na prvním vřetenu.

<b>Vysunutí tyče</b>	0,833 min = 5 s
<b>Hrubování</b>	0,172 min = 10,3 s
<b>Dokončování</b>	0,241 min = 14,46 s
<b>Upichování</b>	0,162 min = 9,72 s
<b>Výměna nástrojů</b>	0,05 min = 3 s

Tab. 3.5 Strojní časy na druhém vřetenu.

<b>Hrubování</b>	0,130 min = 7,79 s
<b>Dokončování</b>	0,091 min = 5,45 s
<b>Výměna nástrojů</b>	0,017 min = 1 s

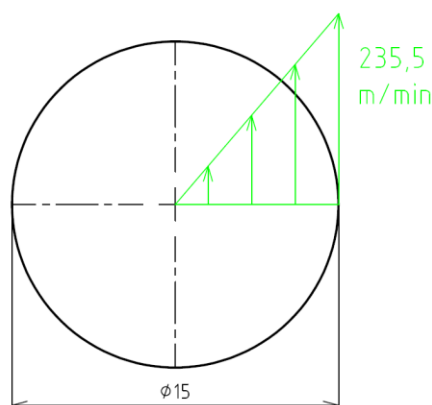
V kapitole 3.2.4 bylo popsáno, že dochází k překrytí strojního času díky souběžné činnosti obou vřeten. Úspora strojního času je znázorněna na obr 26.



Obr. 26 Úspora strojního času.

### 3.2.8 Kritické místo výroby

Při čelním či tvarovém soustružení, kdy posuv nástroje je od obvodu k ose vřetene, dochází ke snižování řezné rychlosti. Ve chvíli, kdy nástroj protíná osu je řezná rychlost nulová (obr. 27) Důsledkem toho může být zhoršená kvalita povrchu v blízkém okolí osy a snižování trvanlivosti řezného nástroje.

Obr. 27 Průběh řezné rychlosti čela při otáčkách 5000 min<sup>-1</sup>.

Kritické místo výroby kulového čepu se nachází na vrcholu kulové hlavy, kde může docházet ke zhoršení kvality povrchu či dokonce pórovitosti. V případě, že se jedná o radiálně nosný čep (kapitola 1.1), kde jsou funkční plochy na obvodu a jamka se nedotýká vrcholu kulové hlavy, pak zhoršená kvalita na vrcholu hlavy nevedí. Pokud se jedná o axiální kulový čep a hodnota drsnosti v tomto místě překračuje povolenou hranici, je nutné upravit řezné podmínky, nebo přidat dokončovací operaci (například broušení).

### 3.2.9 Výpadky ve výrobě

Při sériové výrobě dochází k výpadkům z těchto důvodů:

- **Závada na stroji**

Pokud dojde k poruše stroje, kterou není možné opravit v krátkém časovém horizontu, je nutné výrobu přesunout na jiný stroj v rámci podniku, v ideálním případě stejného typu. V případě přesunu výroby na jiný typ stroje bude zřejmě nutné upravit výrobní proces, což může prodloužit výrobní čas.

- **Zpoždění dodávky materiálu**

V praxi se může stát, že se subdodavatel materiálu, či nástrojů, z různých důvodů opozdí s dodávkou. Je vhodné podobným situacím předcházet, a to například naskladněním dostatečného množství materiálu. Takové řešení je ale náročné na skladovací prostory.

Současný trend je spíše opačný. Podniky přechází na logistickou metodu „Just in time“ (volně přeloženo právě včas). V tomto systému je interval dodávek kratší a v menším množství, vše na základě aktuálních potřeb odběratele [22].

- **Výpadky způsobeny vnějšími vlivy**

K výpadkům ve výrobě může dojít i na základě vnějších vlivů, příkladem může být přerušení dodávky elektrického proudu. Podobným situacím nelze předcházet, ale většinou se jedná krátkodobé výpadky, které na výrobu nemají velký vliv.



### 3.3 Výroba kulových čepů řízení

Kulové čepy řízení, které se používají v automobilovém průmyslu (obr. 28) jsou obvykle tvarově složitější. Jejich výrobní proces většinou podléhá mlčenlivosti.



Obr. 28 Kulový čep řízení.

Tyto součásti se obvykle vyrábí kombinací tváření a obrábění. Polotovary se ková za tepla, protože používané materiály (například 14140) jsou obvykle ušlechtilé a tím pádem nevhodné pro tváření za studena. Funkční plochy je poté nutné obrobit, protože samostatným tvářením není možné dosáhnout požadované přesnosti. Díky této kombinaci dochází k úspoře materiálu, protože úběr při obrábění je výrazně menší než při obrábění plné tyče.

#### 3.3.1 Stroje

Pro obrábění těchto kulových čepů se často využívá speciálních strojů (obr. 29), které dodává česká společnost TOS KUŘIM – OS, a.s. Jedná se o jednoúčelové vertikální soustruhy, které jsou uzpůsobeny k obrábění kulových čepů. Polotovarem je výkovek. Průměr kulové hlavy se pohybuje od 19 do 40 mm, přičemž čas potřebný na výrobu jednoho kusu se pohybuje v jednotkách až desítkách sekund (pro Ø19 mm) [23].



Obr. 29 TOS Kulostroj [19].

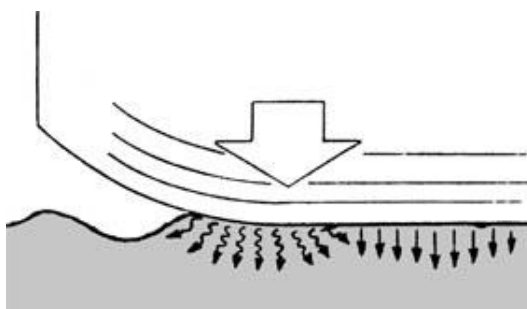
Tyto stroje mají speciální otočný suport, díky kterému je nástroj schopen přesně obkroužit celou kulovou hlavu, obrábění a následné válečkování tak dosahuje vysoké přesnosti.

### 3.3.2 Válečkování

Pro zvýšení kvality výrobku se povrch kulových čepů řízení válečkuje, což má několik pozitivních důsledků, mezi ty hlavní patří [24]:

- zlepšení jakosti povrchu,
- zlepšení mechanických vlastností na povrchu,
- snížení vrubových součinitelů.

Válečkování je beztržisková metoda obrábění, při které se přitlačuje tvrdý prvek na povrch tělesa. Nástroj vyvine tlak překračující mez kluzu a díky tomu se začnou vyrovnávat nerovnosti povrchu (obr. 30). Dochází ke stlačování zrn materiálu na povrchu, což výrazně zvyšuje jeho tvrdost, otěruvzdornost, nebo korozivzdornost. Kvalita povrchu přitom dosahuje hodnot až Ra 0,1 [24]. Funkční plochy nástroje jsou nejčastěji vyrobeny z nástrojové oceli, karbidu nebo diamantu.



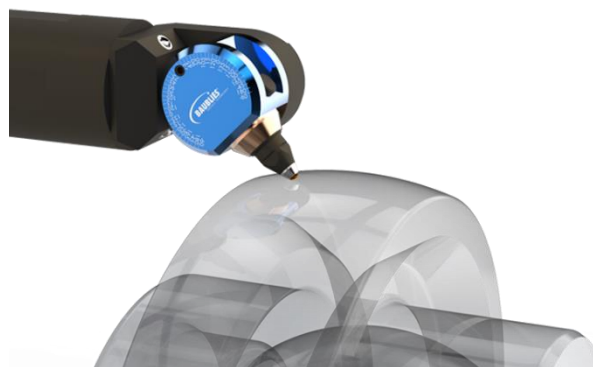
Obr. 30 Válečkování [25].

Společnost Baublies AG, která se specializuje na výrobu válečkovacích nástrojů, nabízí speciální nástroj na kulové plochy (obr. 31). Válečky v tomto nástroji jsou uspořádány do kuželu, přičemž rotuje jak obrobek, tak nástroj. Dochází k tzv. „hlazení po řádcích“ [26].



Obr. 31 Válečkování kulové hlavy [26].

Na válečkování kulové hlavy čepu lze použít i univerzálnější nástroje, například nástroje s diamantovou špičkou od stejného výrobce (obr. 32). Toto řešení by bylo možné použít i na řešenou součást z kapitoly 3.2 [27].



Obr. 32 Válečkovací nástroje s diamantem [28].

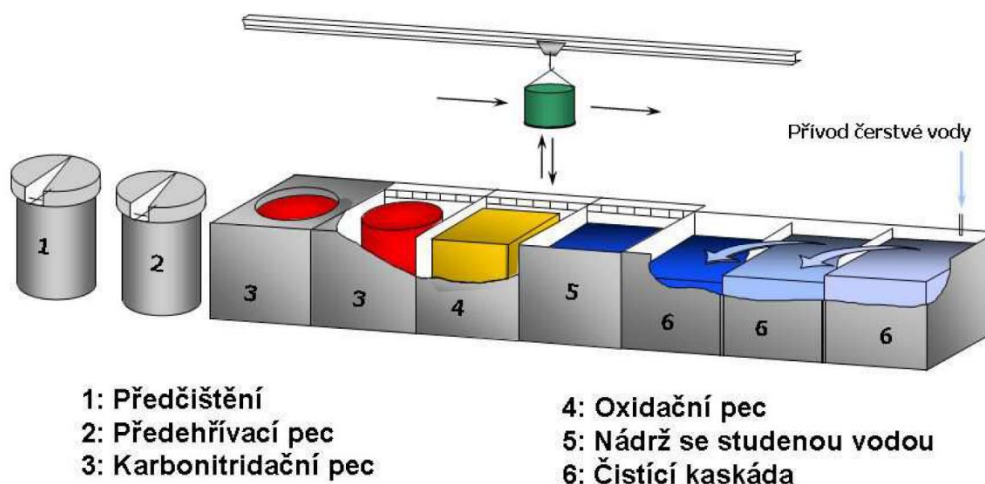
### 3.3.3 Povlakování

Pro další zlepšení kvality kulových čepů řízení se povrch součásti povlakuje. Díky povlaku selepší zejména [29]:

- korozní odolnost,
- odolnost vůči opotřebení, či zadírání,
- únavová životnost,
- vytvrzení povrchu.

Typickým příkladem je technologie „ARCOR“ nabízená firmou Katring Plus s.r.o. ve Žďirci nad Doubravou. Jedná se o nitridaci a následnou oxidaci v solné lázni.

Proces (obr. 33) spočívá v ponoření předehřáté součásti do lázně, která se skládá ze směsi sodných a draselných kyanatanů a uhličitanelem sodným, draselným, nebo lithným. Již po pár minutách se vytvoří uzavřená vrstva. Poté následuje ochlazení součásti zakončené důkladným omytím [29].



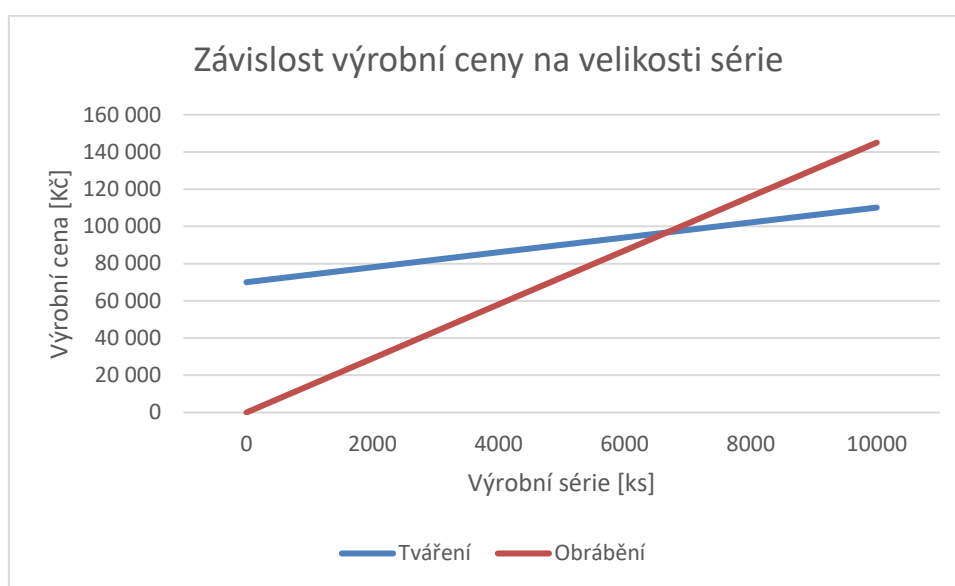
Obr.33 Povlakování [29].

## 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V kapitole 2 a kapitole 3 jsou popsány dvě varianty výroby dané součásti. Při hodnocení vhodnosti výrobního procesu je nutné přihlížet především k výrobní ceně a výrobnímu času.

- **Výrobní cena**

Při počítání výrobních nákladů byly započítány náklady na pracovníka, materiál, nástroje a přípravky. Náklady na pracovníka byly uvažovány 200 Kč/hod. Cena materiálu byla určena dle aktuálního ceníku společnosti FERONA a.s. Náklady na VBD byly uvažovány dle aktuálních ceníků (celkem zhruba 2Kč/ks) a náklady na výrobu přípravků na tváření byly odhadnuty na 70 000 Kč. Závislost výrobní ceny na velikosti série je ukázána na obr. 34.



Obr. 34 Závislost výrobní ceny na velikosti série.

Z grafu je patrné, že třískové obrábění je výhodnější pro malé série zhruba do 7000 kusů. Pro větší série je ekonomicky výhodnější vyrábět součást tvářením.

- **výrobní čas**

Výrobní čas při obrábění byl vypočten v kapitole 3.2.7. na 0,715 minut, což odpovídá 42,9 sekund. Výroba součásti tvářením za studena je výrazně rychlejší, výrobní čas odpovídá jednomu zdvihu tvářecího stroje, což se pohybuje v jednotkách sekund. Nicméně u tváření za studena je nejprve nutné vyrobit přípravky na tváření, což může pozdržet začátek výroby.

## 5 EKOLOGICKÉ HLEDISKO

### 4.1 Recyklace kovového odpadu

Při tváření za studena nevzniká téměř žádný odpad, naopak při třískovém obrábění je nutné se zabývat otázkou, co s odvedenými třískami.

Možností je tzv. recyklace, což znamená opětovné použití odpadu. Z ekologického hlediska je recyklace nesrovnatelně šetrnější k životnímu prostředí než výroba materiálu z rud. Snížení ekologické náročnosti při výrobě oceli z kovového šrotu oproti výrobě těžbou a zpracováním rud je uvedeno v tabulce 5.1 [30].

Tab. 5.1 Snížení ekologických dopadů [26].

<b>Úspora primárních zdrojů</b>	90 %
<b>Snížení znečištění vzduchu</b>	86 %
<b>Úspora vody</b>	40 %
<b>Snížení znečištění vody</b>	76 %
<b>Snížení množství odpadů z těžby</b>	97 %

Také z ekonomického hlediska je recyklace výhodná, náklady na výrobu oceli jsou výrazně nižší. Přibližné hodnoty úspory energie na výrobu kovů recyklací jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tab. 5.2 Snížení energetických nákladů na výrobu kovů recyklací [30].

<b>Železo</b>	75 %
<b>Hliník</b>	95 %
<b>Měď</b>	85 %
<b>Olovo</b>	65 %
<b>Zinek</b>	60 %

Často využívanou službou strojírenských firem bývá vyvážení kovového odpadu (třísek) do specializovaných podniků, které se zabývají recyklací kovů. V rámci strojírenských podniků je ale nezbytně nutné tyto třísky třídít podle materiálu (ocel, měď, hliník apod.). Tento způsob zacházení s kovovým odpadem je ale nákladný jak finančně, tak co se týče požadavků na prostory, kde je nutné třísky shromažďovat.

#### 4.1.1 Briketování

Ekonomicky výhodné je začít se zpracováním kovového odpadu již v rámci samotné firmy. Jednou z možností je použití briketovacích lisů (obr. 35), ve kterých se kovový odpad (třísky) mechanicky stlačují do válcových briket o průměru 40 až 100 mm [31]. Briketováním se výrazně zmenší objem odpadu, se kterým je následně snazší manipulace. Následná výkupní cena briket je v porovnání s třískami vyšší zhruba o 15 %.



Obr. 35 Briketovací lis [31].

V briketovacích lisech se kromě mechanického stlačování třísek také odděluje řezná kapalina, která může být opětovně použita. Tato kapalina se díky tomu nedostane ve větším množství k dalšímu zpracování kovového odpadu, kde je brána jako nežádoucí.

Nevýhodou briketování jsou požadavky na pracovní prostor. Pořízení briketovací linky je poměrně nákladné (cena takového zařízení se pohybuje okolo 1 milionu korun a výše), nicméně výrobce udává návratnost investice do dvanácti měsíců [31].

#### 4.2 Recyklace VBD

Při obrábění vzniká kromě třísek také odpad v podobě opotřebovaných břitových destiček. Ty je nutné během výroby separovat od ostatního odpadu, aby je bylo možné zpracovávat odděleně. O recyklaci se často starají sami výrobci VBD. Například firma SECO Tools AG zpětně vykupuje destičky ze slinutých karbidů i z cermetů, které putují k recyklaci [32].

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo charakterizovat součást kulový čep a její technologické procesy. Pro danou součást byly vybrány dva způsoby výroby, tváření za studena a třískové obrábění.

Pro výrobu kulového čepu tvářením za studena byl vytvořen výrobní postup, který se skládá ze pýchování součásti a dopředného protlačování. Byly určeny rozměry po jednotlivých krocích. Výroba součásti třískovým obráběním byla navrhována na dvouvřetenový soustruh. Jeho největší výhodou je, že obě vřetena mohou pracovat současně, a tudíž dochází k překrytí strojního času.

Malosériovou výrobu dané součásti (jednotky tisíc kusů) je výhodnější provádět třískovým obráběním, a to z důvodů vyšších počátečních nákladů u tváření za studena, pro které je nutno vyrobít přípravky. Náklady na ně se pohybují v desítkách tisíc korun (pro tuto součást byly odhadnuty na 70 000 Kč).

Velkosériová výroba by byla výhodnější tvářením za studena, a to jak z pohledu výrobní ceny, tak z pohledu výrobního času. Při větší sérii se náklady na výrobu přípravku rozloží. Oproti třískovému obrábění dojde k výrazné úspoře v ceně materiálu (4 Kč/ks u tváření oproti 10 Kč/ks u obrábění) a nákladech na pracovníka (0,1 Kč/ks u tváření oproti 2,5 Kč/ks u obrábění). Výrobní čas součásti u tváření za studena se pohybuje v jednotkách sekund (jeden zdvih nástroje), zatímco u obrábění byl vypočten na 0,715 min.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. PĚKNÝ, Antonín. *Části strojů*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1972, 548 s.
2. BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Technický průvodce. ISBN 80-03-00046-7.
3. CHIAVETTE UNIFICATE S.P.A. General Catalogue. Bologna, 2010, 93 s.
4. Snodiangolari. In: *MBO Osswald* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://www.mbo-osswald.de/it/shop/snodi-angolari-sedi-sferico-perni-sferici-snodi-assiali/>
5. SVOBODOVÁ, Magdalena. *Součásti točivého a přímočarého pohybu* [online]. [cit. 2019-01-11]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY\\_32\\_INOVACE\\_14-05.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_14-05.pdf)
6. Kulové čepy. *APM Automotive* [online]. [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://www.apm.cz/podvozkove-centrum-apm-bilstein-4-dil-kulove-cepy/>
7. Technologie tváření kovů. *Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
8. ČADA, Radek. *Technologie I: objemové a plošné tváření zastudena : (návody do cvičení)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2126-9.
9. *Technologie II: Podklady ke studiu - Objemové tváření za studena*. Brno: Vysoké učení technické.
10. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
11. Koule - vzorce. *Aristoteles* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://www.aristoteles.cz/matematika/stereometrie/koule.php>
12. SONG, J.-h. a Y.-t. IM. Expert system for the process sequence design of a ball stud. *Journal of Materials Processing Tech* [online]. Elsevier B.V, 1999, **89(C)**, 72-78 [cit. 2019-02-15]. DOI: 10.1016/S0924-0136(99)00008-4. ISSN 0924-0136. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0924013699000084>
13. Conventional forging: Simulation of a light ball-stud cold forging process. *AFDEX* [online]. 2008 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: [https://www.afdex.com/archive/conventional\\_forging/191](https://www.afdex.com/archive/conventional_forging/191)
14. ČSN 41 1373. *Ocel 11 373*. 1994.
15. *Průručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
16. *Soustružení tvarových ploch* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/soustruzeni-tvarovych-ploch>
17. *KOVO Koukola* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: [www.koukola.cz](http://www.koukola.cz)



18. WNMG080412-M5 TP2501. *SECO Tools AG*. [online]. [cit. 2019-01-10]. Dostupné z: [https://www.secotools.com/#article/p\\_02960556](https://www.secotools.com/#article/p_02960556)
19. DCMT 11T308-SM. *ISCAR Metalworking*. [online]. [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5508563&fnum=868&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1>
20. GX24-2E300N02-CF5 WSM33S. *Walter Tools s.r.o.* [online]. [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/product/GX24-2E300N02-CF5%20WSM33S>
21. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 1. část*. Brno: Vysoké učení technické, 2003.
22. Just in time výroba. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Just\\_in\\_time\\_v%C3%BDroba](https://cs.wikipedia.org/wiki/Just_in_time_v%C3%BDroba)
23. Jednoúčelové stroje. *TOS Kuřim* [online]. [cit. 2019-04-5]. Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/cz/produktove-portfolio/jednoucelove-stroje/tos-kulostroj>
24. HAVELKA, Tomáš. Obrábění válečkováním. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004(4), 28 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-valeckovanim.html>
25. VÁLEČKOVÁNÍ POVRCHU KOVOVÝCH VÝROBKŮ - VÁLEČKOVACÍ NÁSTROJE. *Octopustools.com* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: [https://www.octopustools.com/Valeckovani/info\\_valeckovani.php](https://www.octopustools.com/Valeckovani/info_valeckovani.php)
26. *Válečkovací nástroje na kulové plochy* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.baublies.com/817.html>
27. *Diamantový nástroj na vnější obrábění* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.baublies.com/807.html>
28. *GLÄTTEN VON KAVITÄTEN UND HINTERSCHNITTEN* [online]. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://diamond-burnishing.com/werkzeuge.html>
29. BOßLET, Joachim. *Základy a aplikace karbonitridace v solné lázni*. Berlin: HÄRTEREI-KOLLOQUIUM, 2006.
30. *MANUÁL třídění kovů: Hliník ušetří 95 % energie* [online]. 31.5. 2011 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/bydleni/odpady-1/manual-trideni-kovu-hlinik-usetri-95-energie.aspx>
31. *Briketovací lisy pro lisování kovů* [online]. 2015 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [http://www.brikkis.cz/wp-content/uploads/2013/02/PROSPEKT-LISY-NA-KOVY-CZ\\_2015.pdf](http://www.brikkis.cz/wp-content/uploads/2013/02/PROSPEKT-LISY-NA-KOVY-CZ_2015.pdf)
32. *Katalog a technický průvodce: Soustružení*. SECO Tools, 2019.
33. *Complete Machining Solutions: Non-Rotating Tool Lines*. ISCAR, 2017.
34. *Kompletní katalog: Soustružení, Vrtání, Závitování, Frézování, Upínače*. Walter, 2017.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CNC	computer numerical control (počítačem řízené)
HRC	tvrdost dle Rockwella
NC	numerical control (číslicově řízené)
VBD	vyměnitelné břitové destičky

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
$a_p$	[mm]	šířka záběru ostří
d	[mm]	průměr čepu
$d_1$	[mm]	průměr hlavy kulového čepu
$D_{max}$	[mm]	maximální průměr
$D_{min}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost
F	[N]	zatěžující síla
f	[mm]	posuv na otáčku
$F_T$	[N]	třecí síla
$f_T$	[-]	součinitel tření
$H_i$	[mm]	výška dřívku
L	[mm]	dráha nástroje
l	[mm]	délka obráběné plochy
$l_n$	[mm]	délka náběhu
$l_p$	[mm]	délka přeběhu
$M_o$	[Nm]	ohybový moment
n	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky
$P_t$	[J.s <sup>-1</sup> ]	třecí výkon
p	[MPa]	měrný tlak
$p_D$	[Mpa]	maximální dovolený měrný tlak
R	[mm]	poloměr koule
$R_p$	[mm]	poloměr podstavy

<b>R<sub>a</sub></b>	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
<b>r</b>	[mm]	poloměr úseče
<b>T</b>	[°C]	tvářecí teplota
<b>T<sub>c</sub></b>	[°C]	teplota tání
<b>t<sub>AS</sub></b>	[min]	strojní čas
<b>V</b>	[mm <sup>3</sup> ]	objem
<b>v</b>	[mm]	výška kulové úseče
<b>W<sub>0</sub></b>	[mm <sup>3</sup> ]	průřezový modul v ohybu
<b>σ<sub>k</sub></b>	[Mpa]	mez kluzu
<b>σ<sub>MAX</sub></b>	[MPa]	maximální dovolené napětí
<b>σ<sub>m</sub></b>	[MPa]	mez pevnosti
<b>σ<sub>0</sub></b>	[MPa]	ohybové napětí
<b>φ</b>	[-]	stupeň deformace

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Materiálový list [14]
Příloha 2	katalogový list SECO Tools [32]
Příloha 3	katalogový list Iscar Tools [33]
Příloha 4	katalogový list Watler Tools [34]
Příloha 5	Výpočet strojních časů
Příloha 6	Výkres součásti

## Materiálový list

ČSN 11373 – nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce

**1. Orientační srovnání se zahraničními normami**

DIN	EN 10027-1	EN 10027-2	EN 10025:90	GOST
USt37-2	S235JRG1	1.0036	Fe360BFU	St2kp

**2. Chemické složení (rozbor tavby) v %**

C	Mn	Si	P	S	N	Al
max. 0,170			max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007	

**3. Mechanické vlastnosti**

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	min. 370	min. 350
Mez kluzu $R_e$ [MPa]	min. 250	min. 220
Tažnost $A_{10}$ [%]	min. 7	min. 20

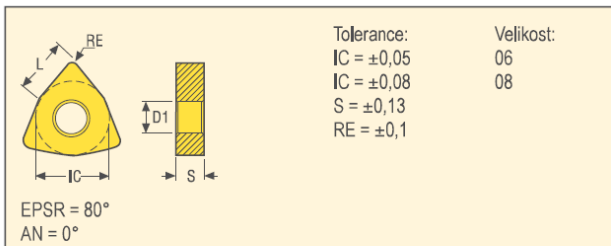
**4. Charakteristika oceli a příklady použití**

Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Součásti konstrukcí a strojů tavně svařované, namáhané staticky i mírně dynamicky, méně namáhaná svařovaná potrubí a odbočnice, jezové konstrukce. Součásti svařované kovářsky.

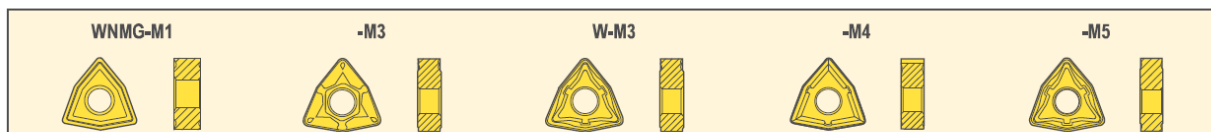
# Soustružení – Břitové destičky



## WNMG



Velikost	Rozměry v mm			
	IC	L	S	D1
0604	9,53	6,5	4,76	3,81
0804	12,70	8,7	4,76	5,15
0806	12,70	8,7	6,35	5,15



Břitové destičky	Objednací kód	RE	Třídy																								
			Povlakované													Nepovlak.		Cermet									
			TP0501	TP1501	TP2501	TP3501	TP200	TP40	TH1000	TH1500	TM2000	TM4000	TK0501	TK1501	TS2000	TS2050	TS2500	CP200	CP500	CP600	HX	KX	883	890	TP1020	TP1030	
WNMG-M1	WNMG080404-M1	0,4																									
	WNMG080408-M1	0,8																									
WNMG-M3	WNMG060402-M3	0,2																									
	WNMG060404-M3	0,4																									
	WNMG060408-M3	0,8																									
	WNMG060412-M3	1,2																									
	WNMG080404-M3	0,4																									
	WNMG080408-M3	0,8																									
	WNMG080412-M3	1,2																									
	WNMG080416-M3	1,6																									
WNMG...W-M3	WNMG060408W-M3	0,8																									
	WNMG060412W-M3	1,2																									
	WNMG080408W-M3	0,8																									
	WNMG080412W-M3	1,2																									
WNMG-M4	WNMG080408-M4	0,8																									
	WNMG080412-M4	1,2																									
WNMG-M5	WNMG060408-M5	0,8																									
	WNMG060412-M5	1,2																									
	WNMG080408-M5	0,8																									
	WNMG080412-M5	1,2																									
	WNMG080416-M5	1,6																									
	WNMG080608-M5	0,8																									
	WNMG080612-M5	1,2																									
	WNMG080616-M5	1,6																									

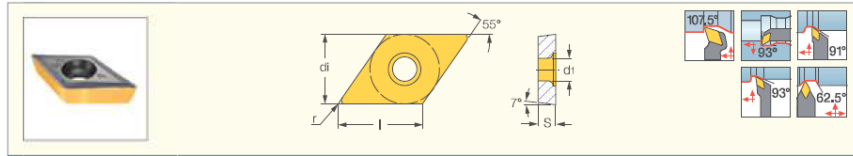
■ Skladový standard  
 Dostupnost ověřte prosím v aktuálním ceníku a seznamu produktů na skladě.

katalogový list Iscar Tools [33]

**ISOTURN**

**DCMT/DCGT-SM**

55° Rhombic Inserts with a 7° Positive Flank for Semi-Finishing and Finish Turning on Soft Materials and Exotic Alloys



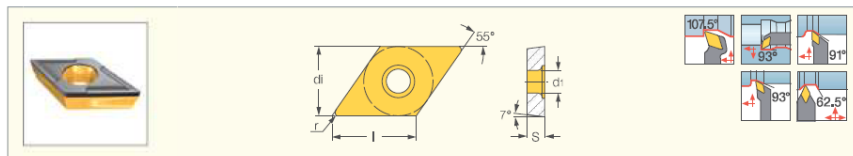
Designation	Dimensions					Tough ↔ Hard								Recommended Machining Data			
	l	di	S	r	d <sub>1</sub>	IC8350	IC6025	IC8250	IC530N	IC6015	IC8150	IC520N	IC806	IC807	IC907	a <sub>p</sub> (mm)	f (mm/rev)
<b>DCMT 070202-SM</b>	7.70	6.35	2.38	0.20	2.80		•			•			•	•	•	0.50-2.00	0.04-0.20
<b>DCMT 070204-SM</b>	7.70	6.35	2.38	0.40	2.80		•	•		•	•		•	•	•	0.50-2.50	0.05-0.25
<b>DCMT 070208-SM</b>	7.70	6.35	2.38	0.80	2.80			•								0.50-3.00	0.07-0.25
<b>DCGT 11T302-SM</b>	11.60	9.52	3.97	0.20	4.40										•	0.30-2.00	0.05-0.25
<b>DCGT 11T304-SM</b>	11.60	9.52	3.97	0.40	4.40										•	0.50-2.50	0.05-0.25
<b>DCMT 11T302-SM</b>	11.60	9.52	3.97	0.20	4.40		•	•	•	•					•	0.50-2.50	0.05-0.25
<b>DCMT 11T304-SM</b>	11.60	9.52	3.97	0.40	4.40	•	•	•	•	•			•	•	•	0.50-2.50	0.07-0.25
<b>DCMT 11T308-SM</b>	11.60	9.52	3.97	0.80	4.40	•	•	•	•	•			•	•	•	1.00-3.00	0.07-0.25
<b>DCMT 11T312-SM</b>	11.60	9.52	3.97	1.20	4.40							•				1.00-3.50	0.10-0.28

• For user guide and cutting speed recommendations, see pages 197-212  
 For tools, see pages: A/E/S-SDUCR/L (92) • C#-SDJCR-JHP (51) • C#-SDJCR/L (50) • C#-SDNCN (54) • E-SDUCR/L-HEAD (93) • IM-SDNCN (54) • PDACR/L-JHP (52) • PDACR/L-S (49) • SDACR/L (51) • SDHCR/L (51) • SDJCR-PAD (51) • SDJCR/L (50) • SDNCN (54) • PDACR/L-JHP-MC (53)

**ISOTURN**

**DCMT/DCGT**

55° Rhombic Inserts with a 7° Positive Clearance for Finishing Applications



Designation	Dimensions					Tough ↔ Hard								Recommended Machining Data	
	l	di	S	r	d <sub>1</sub>	IC830	IC8250	IC908	IC30N	IC530N	IC8150	IC20N	IC520N	a <sub>p</sub> (mm)	f (mm/rev)
<b>DCGT 070201R<sup>(1)</sup></b>	7.70	6.35	2.38	0.10	2.80			•						0.25-1.50	0.05-0.15
<b>DCGT 070202</b>	7.70	6.35	2.38	0.20	2.80				•					0.50-2.00	0.08-0.20
<b>DCGT 070204</b>	7.70	6.35	2.38	0.40	2.80				•					0.80-2.50	0.10-0.25
<b>DCMT 070202</b>	7.70	6.35	2.38	0.20	2.80	•	•				•	•	•	0.50-2.00	0.08-0.20
<b>DCMT 070204</b>	7.70	6.35	2.38	0.40	2.80	•	•		•		•	•	•	0.50-2.00	0.08-0.22
<b>DCGT 11T302</b>	11.60	9.52	3.97	0.20	4.40				•					0.50-2.00	0.08-0.20
<b>DCGT 11T304</b>	11.60	9.52	3.97	0.40	4.40				•					1.00-2.50	0.12-0.25
<b>DCMT 11T302</b>	11.60	9.52	3.97	0.20	4.40				•	•				0.50-2.00	0.08-0.20
<b>DCMT 11T304</b>	11.60	9.52	3.97	0.40	4.40				•	•				0.50-2.00	0.12-0.25
<b>DCMT 11T308</b>	11.60	9.52	3.97	0.80	4.40	•								1.50-3.00	0.14-0.29

• Right-hand inserts for right-hand external tools and for left-hand internal tools • For user guide and cutting speed recommendations, see pages 197-212  
<sup>(1)</sup> Right-hand insert

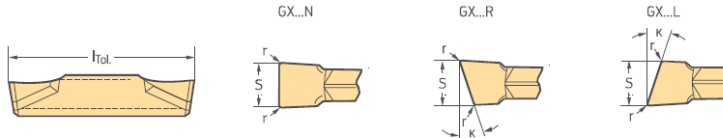
For tools, see pages: A/E/S-SDUCR/L (92) • C#-SDJCR-JHP (51) • C#-SDJCR/L (50) • C#-SDNCN (54) • E-SDUCR/L-HEAD (93) • IM-SDNCN (54) • PDACR/L-JHP (52) • PDACR/L-S (49) • SDACR/L (51) • SDHCR/L (51) • SDJCR-PAD (51) • SDJCR/L (50) • SDNCN (54) • PDACR/L-JHP-MC (53)





Zapichování

## Zapichování a upichování Břitové destičky GX Tiger-tec® Silver



### Břitové destičky

Označení	s mm	r mm	κ	l mm	f mm	S <sub>Tol</sub> mm	h <sub>Tol</sub> mm	P		M		K		S	
								HC		HC		HC		HC	
								WKM23S	WSM23S	WSM33S	WSM43S	WKM23S	WSM23S	WSM33S	WSM43S
GX16-0E150N01-CF6	1,5	0,15		16,6	0,03-0,10	±0,02	±0,05								
GX16-0E150R/L10-CF6	1,5	0,15	10°	16,6	0,03-0,10	±0,05	±0,05								
GX16-1E200N02-CF6	2	0,2		16,6	0,03-0,12	±0,05	±0,15								
GX16-1E200R/L6-CF6	2	0,2	6°	16,6	0,03-0,10	±0,05	±0,15								
GX16-1E200R/L7-CF6	2	0	7°	16,2	0,03-0,10	±0,05	±0,15								
GX16-1E200R/L15-CF6	2	0	15°	16,2	0,03-0,10	±0,05	±0,15								
GX16-1E250N02-CF6	2,5	0,2		16,6	0,03-0,15	±0,05	±0,15								
GX16-1E250R/L6-CF6	2,5	0,2	6°	16,6	0,03-0,12	±0,05	±0,15								
GX16-2E300N02-CF6	3	0,2		16,6	0,04-0,20	±0,05	±0,15								
GX16-2E300R/L6-CF6	3	0,2	6°	16,6	0,04-0,16	±0,05	±0,15								
GX16-2E300R/L7-CF6	3	0	7°	16,2	0,04-0,13	±0,05	±0,15								
GX16-2E300R/L15-CF6	3	0	15°	16,2	0,04-0,13	±0,05	±0,15								
GX24-1E200N02-CF6	2	0,2		24	0,03-0,12	±0,05	±0,15								
GX24-2E300N02-CF6	3	0,2		24,6	0,04-0,20	±0,05	±0,15								
GX24-2E300R/L6-CF6	3	0,2	6°	24,6	0,04-0,16	±0,05	±0,15								
GX24-2F300N02-CF6	3	0,2		24	0,04-0,20	±0,05	±0,15								
GX16-1E200N00-CF5	2	0		16,6	0,03-0,10	±0,02	±0,05								
GX16-1E200N02-CF5	2	0,2		16,6	0,04-0,12	±0,05	±0,15								
GX16-1E200R/L6-CF5	2	0,2	6°	16,6	0,03-0,10	±0,05	±0,15								
GX16-1E200R/L7-CF5	2	0	7°	16,4	0,03-0,10	±0,05	±0,15								
GX16-1E200R/L15-CF5	2	0	15°	16,4	0,03-0,10	±0,05	±0,15								
GX16-1E250N02-CF5	2,5	0,2		16,6	0,05-0,15	±0,05	±0,15								
GX16-1E250R/L6-CF5	2,5	0,2	6°	16,6	0,03-0,12	±0,05	±0,15								
GX16-2E300N02-CF5	3	0,2		16,6	0,08-0,20	±0,05	±0,15								
GX16-2E300R/L6-CF5	3	0,2	6°	16,6	0,04-0,16	±0,05	±0,15								
GX16-2E300R/L7-CF5	3	0	7°	16,6	0,04-0,13	±0,05	±0,15								
GX16-2E300R/L15-CF5	3	0	15°	16,6	0,04-0,13	±0,05	±0,15								
GX24-1E200N02-CF5	2	0,2		24	0,04-0,12	±0,05	±0,15								
GX24-1E250N02-CF5	2,5	0,2		24	0,05-0,15	±0,05	±0,15								
GX24-2E300N00-CF5	3	0		24,6	0,04-0,16	±0,02	±0,05								
GX24-2E300N02-CF5	3	0,2		24	0,08-0,20	±0,05	±0,15								
GX24-2E300R/L6-CF5	3	0,2	6°	24,6	0,04-0,16	±0,05	±0,15								
GX24-3E400N02-CF5	4	0,2		24	0,10-0,22	±0,05	±0,15								
GX24-3E400R/L6-CF5	4	0,2	6°	24,6	0,10-0,18	±0,05	±0,15								
GX24-3E500N03-CF5	5	0,3		24	0,10-0,25	±0,05	±0,15								
GX24-2F300N02-CF5	3	0,2		23,7	0,08-0,20	±0,05	±0,15								
GX24-3F400N02-CF5	4	0,2		23,7	0,10-0,22	±0,05	±0,15								
GX24-3F500N03-CF5	5	0,3		23,7	0,10-0,25	±0,05	±0,15								

r<sub>Tol</sub> = přesnost opakování při výměně VBD  
Tolerance rádiusu r<sub>Tol</sub> = ±0,05 mm  
Upichování do Ø 32 mm možné s destičkami GX16 (l = 16,6 mm)

HC = povlakovaný slinutý karbid



## Výpočet strojních časů

**1. VŘETENO****Vysunutí tyče**

Vysunutí tyče z automatického podavače a její upnutí trvá zhruba 5 s.

**Hrubování**

Dráha nástroje  $L_i$  se určí ze vztahu (3.1), přičemž délka náběhu a přeběhu je rovna 1 mm. Délka soustružené plochy byla určena pomocí programu AutoCAD 2017, přičemž platí:

$l_1 = 78,09 \text{ mm}$  .....délka soustružené plochy při prvním záběru

$l_2 = 72,61 \text{ mm}$  .....délka soustružené plochy při druhém záběru

$$L_1 = l_1 + l_n + l_p = 78,09 + 1 + 1 = 80,09 \text{ mm}$$

$$L_2 = l_2 + l_n + l_p = 72,61 + 1 + 1 = 74,61 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.2). Otáčky vřetena při hrubování je  $n_1=4000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_1 = 0,4 \text{ mm}$ , pro strojní čas prvního záběru platí:

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n_1 \cdot f_1} = \frac{80,09}{4000 \cdot 0,4} = 0,05 \text{ min} = 3 \text{ s}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.2). Otáčky vřetena při hrubování je  $n_2=4000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_2 = 0,4 \text{ mm}$ , pro strojní čas druhého záběru platí:

$$t_{AS2} = \frac{L_2}{n_2 \cdot f_2} = \frac{74,61}{4000 \cdot 0,4} = 0,0466 \text{ min} = 2,8 \text{ s}$$

Vedlejší časy při hrubování na prvním vřetenu jsou uvedeny v tab 1.1

Příjezd nástroje k součásti	2 s
Přejezd nástroje mezi záběry	0,5 s
Odjezd nástroje	2 s
Součet ( $t_{V1}$ )	4,5 s

Celkový čas na hrubování na prvním vřetenu je součtem výše zmíněných časů.

$$t_{H1} = t_{AS1} + t_{AS2} + t_{V1} = 3 + 2,8 + 4,5 = 10,3 \text{ s}$$

**Dokončování**

Dráha nástroje  $L_i$  se určí ze vztahu (3.1), přičemž délka náběhu a přeběhu je rovna 1 mm. Délka soustružené plochy byla určena pomocí programu AutoCAD, přičemž platí:

$l_3 = \frac{D}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ mm}$  .....poloměr čela

$l_4 = 40 \text{ mm}$  .....délka dříku průměr 15

$l_5 = 45,27 \text{ mm}$  .....délka druhého dříku a části kulové hlavy

$$L_3 = l_3 + l_n + l_p = 7,5 + 1 + 0 = 8,5 \text{ mm}$$

$$L_4 = l_4 + l_n + l_p = 40 + 1 + 0 = 41 \text{ mm}$$

$$L_5 = l_5 + l_n + l_p = 45,27 + 0 + 1 = 46,27 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.2). Otáčky vřetena při dokončování čela jsou  $n_3=5000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_3 = 0,15 \text{ mm}$ . Pro strojní čas dokončování čela platí:

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{n_3 \cdot f_3} = \frac{8,5}{5000 \cdot 0,15} = 0,0113 \text{ min} = 0,62 \text{ s}$$

Otáčky vřetena při dokončování dříku o  $\varnothing 15$  je  $n_4=5500 \text{ min}^{-1} = 91,67 \text{ s}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_4 = 0,075 \text{ mm}$ , pro strojní čas platí:

$$t_{AS4} = \frac{L_4}{n_4 \cdot f_4} = \frac{41}{5500 \cdot 0,075} = 6,56 \text{ s}$$

Otáčky vřetena při dokončování druhého dříku a části kulové hlavy je  $n_5=5500 \text{ min}^{-1} = 91,67 \text{ s}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_5 = 0,2 \text{ mm}$ , pro strojní čas platí:

$$t_{AS5} = \frac{L_5}{n_5 \cdot f_5} = \frac{46,27}{91,67 \cdot 0,2} = 0,09939 \text{ min} = 2,78 \text{ s}$$

Vedlejší časy při dokončování na prvním vřetenu jsou uvedeny v tab 1.2

Příjezd nástroje k součásti	2 s
Přejezd nástroje mezi záběry	0,5 s
Odjezd nástroje	2 s
Součet ( $t_{V2}$ )	4,5 s

Celkový čas na dokončování na prvním vřetenu je součtem výše zmíněných časů.

$$t_{D1} = t_{AS3} + t_{AS4} + t_{AS5} + t_{V2} = 0,62 + 6,56 + 2,78 + 4,5 = 14,46 \text{ s}$$

### Upichování

Délka náběhu je rovna 1 mm. Průměr upichované plochy je stejný jako průměr polotovaru, platí:

$$D_6 = 30 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Poloměr upichované plochy}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.3). Řezná rychlost při upichování je  $v_{c6} = 130 \text{ m/min}$  a posuv na otáčku  $f_6 = 0,1 \text{ mm}$ . Pro strojní čas upichování platí:

$$t_{AS6} = \frac{\pi \cdot ((D_6 + 2l_n)^2)}{4 \cdot 10^3 \cdot v_{c6} \cdot f_6} = \frac{\pi \cdot ((30 + 2 \cdot 1)^2)}{4 \cdot 10^3 \cdot 130 \cdot 0,1} = 0,0619 \text{ min} = 3,72 \text{ s}$$

Vedlejší časy při upichování jsou uvedeny v tab 1.2

Příjezd druhého vřetene a uchopení součásti	2 s
Příjezd nástroje k součásti	2 s
Odjezd nástroje	2 s
Součet ( $t_{V3}$ )	6 s

Celkový čas upichování je součtem výše zmíněných časů.

$$t_U = t_{AS6} + t_{V3} = 3,72 + 6 = 9,72 \text{ s}$$

## 2. VŘETENO

### Hrubování

Dráha nástroje  $L_i$  se určí ze vztahu (3.1), přičemž délka náběhu a přeběhu je rovna 1 mm. Délka soustružené plochy byla určena pomocí programu AutoCAD 2017, přičemž platí:

$l_7 = 13,5 \text{ mm}$ .....délka soustružené plochy při prvním záběru

$l_8 = 8,36 \text{ mm}$  .....délka soustružené plochy při druhém záběru

$l_9 = 9 \text{ mm}$  .....délka soustružené plochy při druhém záběru

$l_{10} = 9,6$  .....délka soustružené plochy při druhém záběru

$$L_7 = l_7 + l_n + l_p = 13,5 + 1 + 1 = 15,5 \text{ mm}$$

$$L_8 = l_8 + l_n + l_p = 8,36 + 1 + 1 = 10,36 \text{ mm}$$

$$L_9 = l_9 + l_n + l_p = 9 + 1 + 0 = 10 \text{ mm}$$

$$L_{10} = l_{10} + l_n + l_p = 9,6 + 1 + 1 = 11,6 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.2). Otáčky vřetena při hrubování jsou  $n_7=5000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_7 = 0,25 \text{ mm}$ , pro strojní čas prvního záběru platí:

$$t_{AS7} = \frac{L_7}{n_7 \cdot f_7} = \frac{10,36}{5000 \cdot 0,25} = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ min} = 0,5 \text{ s}$$

Otáčky vřetena při hrubování je  $n_8=5000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_8 = 0,25 \text{ mm}$ , pro strojní čas druhého záběru platí:

$$t_{AS8} = \frac{L_8}{n_8 \cdot f_8} = \frac{15,5}{5000 \cdot 0,25} = 0,0124 \text{ min} = 2,8 \text{ s}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.2). Otáčky vřetena při hrubování jsou  $n_7=5000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_7 = 0,25 \text{ mm}$ , pro strojní čas prvního záběru platí:

$$t_{AS9} = \frac{L_9}{n_9 \cdot f_9} = \frac{10}{5000 \cdot 0,25} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ min} = 0,48 \text{ s}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.2). Otáčky vřetena při hrubování je  $n_8=5000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_8 = 0,25 \text{ mm}$ , pro strojní čas druhého záběru platí:

$$t_{AS10} = \frac{L_{10}}{n_{10} \cdot f_{10}} = \frac{11,6}{5000 \cdot 0,25} = 9,28 \cdot 10^{-3} \text{ min} = 0,56 \text{ s}$$

Vedlejší časy při hrubování na prvním vřetenu jsou uvedeny v tab 1.1

Příjezd nástroje k součásti	2 s
Přejezd nástroje mezi záběry	1,5 s
Odjezd nástroje	2 s
Součet ( $t_{V4}$ )	5,5 s

Celkový čas na hrubování na prvním vřetenu je součtem výše zmíněných časů.

$$t_{H2} = t_{AS7} + t_{AS8} + t_{AS9} + t_{AS10} + t_{V3} = 0,75 + 0,5 + 0,48 + 0,56 + 5,5 = 10,3 \text{ s}$$

### **Dokončování**

Dráha nástroje  $L_i$  se určí ze vztahu (3.1), přičemž délka náběhu a přeběhu je rovna 1 mm. Délka soustružené plochy byla určena pomocí programu AutoCAD, přičemž platí:

$l_{11} = 22 \text{ mm}$  .....délka čtvrtkoule

$$L_{11} = l_{11} + l_n + l_p = 22 + 1 + 1 = 24 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas se stanoví ze vztahu (3.2). Otáčky vřetena při dokončování jsou  $n_{11}=5000 \text{ min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_{11} = 0,2 \text{ mm/ot}$ . Pro strojní čas dokončování čela platí:

$$t_{AS11} = \frac{L_{11}}{n_{11} \cdot f_{11}} = \frac{24}{5000 \cdot 0,2} = 0,024 \text{ min} = 1,45 \text{ s}$$

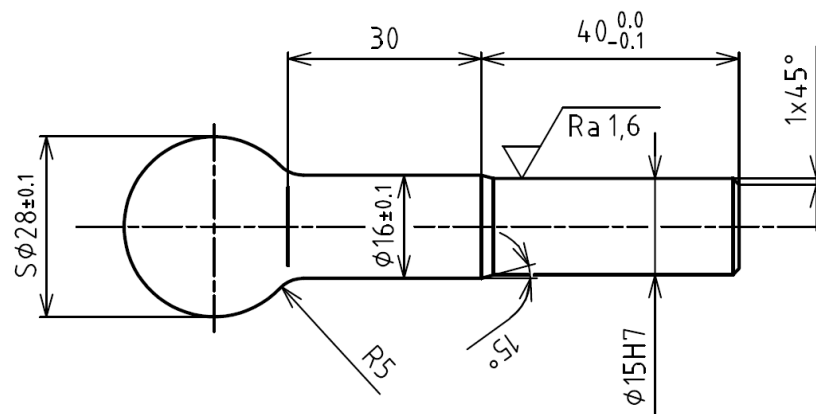
Vedlejší časy při dokončování na prvním vřetenu jsou uvedeny v tab 1.2

Příjezd nástroje k součásti	2 s
Odjezd nástroje	2 s
Součet ( $t_{V5}$ )	4 s

Celkový čas na dokončování na prvním vřetenu je součtem výše zmíněných časů.

$$t_{D2} = t_{AS11} + t_{V5} = 1,45 + 4 = 5,45 \text{ s}$$

Výkres součásti



Struktura povrchu: 		Hrany: 		Měřítko <b>1:1</b>	Přesnost ISO2768-mK Tolerování Promítání
Materiál ČSN 11 373	Polotovár	Hmotnost kg		CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016	
Druh dokumentu <b>VÝKRES SOUČÁSTI</b> Kreslil Schválil Datum vydání 10.12.2018		Název <b>Kulový čep</b> Číslo dokumentu List /			